

TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN Al_2O_3 TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA *ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE*

TITO ARIFianto PRABOWO
NRP 2110 100 041

Dosen Pembimbing
Indra sidharta, ST, MSc.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN Al_2O_3 TERHADAP KEKUATAN
TARIK PADA *ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE***

TITO ARIFianto PRABOWO
2110100041

Dosen Pembimbing
Indra Sidharta, ST, MSc.
NIP. 198006192006041004

PROGRAM STUDI SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT – TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT IN
ADDITION Al_2O_3 ON TENSILE STRENGTH OF
ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE**

TITO ARIFIAN TO PRABOWO
NRP. 2110100041

Faculty Advisor
Indra Sidharta, ST, MSc.
NIP. 198006192006041004

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN Al_2O_3 TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA *ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TITO ARIFianto PRABOWO

NRP. 2110 100 041

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Indra Sidharta, ST, MSc.
NIP. 198006192006041004
 2. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT
NIP. 197407032000031001
 3. Suwarno, ST, MSc., PhD.
NIP. 198005202005011003
 4. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 196006231988031002
- 
- (Pembimbing)
(Penguji I)
(Penguji II)
(Penguji III)

SURABAYA

Januari, 2017

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN Al_2O_3 TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE

Nama Mahasiswa : Tito Arifianto Prabowo
NRP : 2110 100 041
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta, S.T , M.Sc

ABSTRAK

Pada era teknologi yang semakin maju, manusia terus berusaha menemukan material baru yang memiliki sifat-sifat unggul. Material yang digunakan pun diharuskan memiliki ketentuan tertentu untuk memenuhi kebutuhan. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi seperti di bidang komposit dapat menjadi alternatif untuk permasalahan yang timbul dan dapat memenuhi karakteristik dan sifat mekanik tertentu sesuai yang diinginkan. Material komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dari dua atau lebih penyusun berbeda yaitu penguat dan matrix. Metal matrix composite berbasis aluminium merupakan bagian dari komposit yang terus diteliti guna memperoleh sifat yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Matrix dan penguat dikombinasikan dalam skala makroskopis. Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya merupakan kombinasi dari material penyusunnya. Pada komposit dapat terbentuk interphase yaitu suatu fase di antara fase matriks dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan. Metal Matrix Composite (MMC) adalah komposit dengan matriks aluminium dengan penguat partikel memberikan sejumlah alternatif penggunaan karena komposit ini memiliki keunggulan dari sisi kapasitas panas spesifik, konduktivitas panas tinggi, massa jenis rendah, kekuatan spesifik tinggi, kekakuan spesifik tinggi, koefisien ekspansi baik serta ketahanan aus.

Dalam studi ini, Aluminium dicairkan hingga suhu 900°C dalam tungku krusibel. Alumina sebagai penguat ditambahkan saat aluminium dalam keadaan cair, kemudian diaduk selama 10 menit dengan putaran 300 rpm. Aluminium matrix composite dibuat dengan metode stir casting. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik, uji kekerasan, struktur makro dan mikro, uji SEM-EDX.

Hasil yang didapatkan adalah nilai kekuatan tarik menurun dari kadar 0% hingga 15 % volume fraksi alumina dan naik pada kadar 20 % volume fraksi alumina, kemudian turun kembali pada kadar 25% volume fraksi alumina. Nilai kekerasan sebanding dengan nilai kekuatan tarik yaitu adalah nilai kekerasan menurun dari kadar 0% hingga 15 % volume fraksi alumina dan naik pada kadar 20 % volume fraksi alumina, kemudian turun kembali pada kadar 25% volume fraksi alumina.

Katakunci : Aluminium Matrix Composite, Al_2O_3 , Stir Casting, Uji tarik, Kekerasan, Struktur Makro, Mikro, SEM-EDX

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT IN ADDING Al₂O₃ ON TENSILE STRENGTH OF ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE

Name : Tito Arifianto prabowo
Student ID : 2110 100 041
Department : Mechanical Engineering
Academic Supervisor : Indra Sidharta, ST, M.Sc

ABSTRACT

In advance technology era, people are looking for new advanced materials with excellent properties. These materials should follow the specified properties to be used accordingly to its functions. As technology and knowledge develop, especially in the composite industry, these materials can be an alternative solution to fulfill the desired characteristics and properties that are looked for. Composite is defined as a material that made up of two or more compiler materials, which are reinforce and matrix. Aluminum based metal matrix composite is being researched to get the properties that is needed to function. Matrix and reinforce are combined in a macroscopic scale. By combining the materials, a material with a combined properties from both material will be obtained. In composite, an interphase is able to form, which is a phase between the matrix and the reinforce that resulted from the chemical reaction and effect of the process. Metal Matrix Composite (MMC) is a composite with aluminum matrix with particle reinforced, which gives several advantages, because this composite is excellent in heat specific capacity, high specific strength, high specific rigidity, good expansion coefficient and resistance to wear.

In this study, aluminum is liquefied until it reaches 900°C in a crucible furnace. Alumina, used as the reinforced, is added when the aluminum is in the liquid phase. Then the mixture is stirred for 10 minutes with a 300 rpm rotational speed. Aluminum matrix composite is made using the stir casting method. The material is

then tested using tensile test, hardness test, macro and micro structure analysis, and chemical composition test using SEM – EDX.

The results shows that tensile strength decreases in 0% to 15% of alumina volume fraction and increases in 20% of alumina volume fraction, then decreases again in 25% of alumina volume fraction. Hardness number is proportional to the tensile strength, which are, decreasing in 0% to 15% alumina volume fraction, increasing in 20% of alumina volume fraction and decreasing again in 25% of alumina volume fraction.

Key words: Aluminium Matrix Composite, Al_2O_3 , Stir Casting, Tensile Test, Hardness Test, Macrostructure, Microstructure, SEM-EDX

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas anugerah, berkah, dan hidayah-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Al_2O_3 Terhadap Kekuatan Tarik Pada *Aluminium Matrix Composite*” ini dapat diselesaikan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan syafaat kepada seluruh umat manusia di dunia.
2. Bapak Indra Sidharta, ST, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu ditengah kesibukannya untuk memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibuku Suprobowati yang selalu memberikan doa setiap kali penulis merasa tidak bersemangat dan semangat dukungan yang tersirat ataupun tersurat pada penulis sehingga dapat diberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ayahku dr. Bambang Rachmayanto yang selalu memberikan doa setiap kali penulis merasa tidak bersemangat dan memberikan semangat dukungan yang tersirat ataupun tersurat pada penulis sehingga dapat diberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kakakku Clara Nastiti Rachmandini yang selalu memberikan doa dan dukungan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Pakdhe Andre Bandung yang selalu memberikan doa dan memberikan semangat pada penulis sehingga dapat diberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Sahabatku Ittang, Pimen, TJ, dan Aufar selalu memberikan bantuan dan motivasi untuk cepat mengerjakan tugas akhir ini.

8. Rani Dian Astari yang selalu memberi doa dan menjadi penyemangat dalam penulisan tugas akhir ini.
9. Teman-temanku Lab. Metalurgi Amri, Esya, Khisni, Arale, Afifah, Gandos, Syafaat, Arya, Wira dan Sonny selalu memberikan bantuan dan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.
10. Teman-temanku MBP Squad Nabil, Hisyam, Satpam, Kukuh aka lutung, Santos, gopel aka ardika, King may, Raja, Gandung, Husen, Kenyet, Mbeng, dan Faisal yang memotivasi penulis.
11. Teman-temanku LBMM 2010 yang selalu memberikan motivasi untuk cepat mengerjakan tugas akhir ini.
12. Seluruh Bengkelerz yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Teman-teman ITS TEAM SAPUANGIN 2013 dan ITS TEAM SAPUANGIN 2014 selalu memberi semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
14. Mas Faisal CNC yang membantu dan memberikan motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna, baik dari analisis yang penulis lakukan maupun dalam penulisan laporan. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Surabaya, 9 Januari 2017

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3. Batasan Masalah.....	2
I.4. Tujuan Penelitian.....	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	3
I.6. Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
II.1. Tinjauan Pustaka.....	5
II.2. Dasar Teori.....	10
II.2.1. Komposit.....	10
II.2.1.1. Matriks (Matrix).....	12
II.2.1.2. Penguat (Reinforcement).....	12
II.2.2. <i>Metal Matrix Composite</i>	14
II.2.2.1. Aluminium.....	15
II.2.2.2. <i>Aluminium Oxide</i> (Alumina).....	16
II.2.3. <i>Aluminium Matrix Composite</i> (AMC).....	17
II.2.4. Proses Produksi <i>Metal Matrix Composite</i>	17
II.2.4.1. Stir Casting.....	20
II.2.5. Perhitungan.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
III.1. Perancangan Eksperimen.....	25
III.2. Alat dan Bahan.....	27
III.2.1. Peralatan penelitian.....	27
III.2.2. Bahan.....	30
III.3. variabel Penelitian.....	31

III.4. Pembuatan <i>Aluminium Matrix Composite</i>	32
III.4.1. Proses <i>Stir Casting</i>	32
III.5. Pengujian Spesimen	33
III.5.1. Pengujian Kekerasan	34
III.5.2. Pengujian Tarik	34
III.5.3. Pengamatan Struktur Mikro	35
BAB IV DATA HASIL PENGUJIAN	37
IV.1. Pengujian Komposisi Kimia	37
IV.2. Pengujian Mekanik	38
IV.3. Pengujian Struktur Mikro.....	47
IV.3.1. Persebaran Alumina Pada <i>Aluminium Matrix Composite</i>	47
IV.3.2. Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive Xray (EDX).....	48
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	55
V.1. Pembahasan Komposisi Kimia Matriks	55
V.2. Pengaruh Penambahan Alumina Terhadap Sifat Mekanik.....	56
V.2.1. Kekerasan	56
V.2.1. Kekuatan Tarik	58
V.3. Pembahasan Struktur Mikro dan Makro.....	60
V.3.1. Pengamatan Mikro	60
V.3.2. Pengamatan Makro.....	65
V.3.3. Penggetasan hydrogen (<i>Hydrogen Embrittlement</i>)	68
BAB VI KESIMPULAN	69
VI.1. Kesimpulan	69
VI.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
BIODATA PENULIS	73

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Pengaruh Ukuran Butiran Partikel Al_2O_3 terhadap Nilai Kekerasan Material Al- Al_2O_3	5
Gambar 2.2 Grafik Pengaruh Ukuran Butiran Al_2O_3 terhadap (a) nilai <i>yield strength</i> dan (b) <i>elongation</i>	6
Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Volume Fraksi Al_2O_3 terhadap <i>Yield Strength</i>	7
Gambar 2.4 Grafik Pengaruh Volume Fraksi Al_2O_3 terhadap % <i>Elongation</i>	8
Gambar 2.5 Grafik rata-rata nilai kekerasan	9
Gambar 2.6 Proses Pembuatan pada <i>Low Pressure Cast Wheel</i>	9
Gambar 2.7 Grafik rata-rata nilai ketahanan beban kejut.	10
Gambar 2.8 Fase - Fase Pada Komposit	11
Gambar 2.9 <i>Particle Reinforced Composite</i>	13
Gambar 2.10 <i>Fiber Reinforced Composite</i>	13
Gambar 2.11 <i>Laminar Reinforced Composite</i>	13
Gambar 2.12 Perbandingan spesifik <i>tensile strength</i> dan spesifik <i>stiffnes metal alloy</i> dengan MMCs	14
Gambar 2.13 Klasifikasi Pembuatan <i>Metal Matrix Composite</i>	18
Gambar 2.14 <i>Bonding Fusion</i>	19
Gambar 2.15 Mekanisme Proses <i>stir casting</i>	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Tungku Krusibel	27
Gambar 3.3 Mesin Bubut	28
Gambar 3.4 <i>Ladle</i>	28
Gambar 3.5 Timbangan Digital	29
Gambar 3.6 Jangka Sorong (<i>Vernier Caliper</i>)	30
Gambar 3.7 Potongan Aluminium	31
Gambar 3.8 Bubuk <i>aluminium oxide</i> 1 mikron	31
Gambar 3.9 Spesimen pengujian tarik	33
Gambar 3.10 (a) Dimensi spesimen uji (b) titik pengujian spesimen	34

Gambar 3.11 Ilustrasi mesin uji tarik.....	35
Gambar 4.1 (a) Spesimen awal pengujian tarik (b) pengujian kekerasan	41
Gambar 4.2 Pola patahan spesimen uji tarik dengan fraksi volume alumina 0%.....	41
Gambar 4.3 Pola patahan spesimen uji tarik dengan fraksi volume alumina 20%.....	41
Gambar 4.4 Pola patahan spesimen uji tarik dengan fraksi volume alumina 25%.....	42
Gambar 4.5 (a) Spesimen uji tarik (b) Spesimen uji kekerasan	43
Gambar 4.6 Grafik rata-rata nilai kekuatan tarik	43
Gambar 4.7 Grafik rata-rata persen elongation.....	44
Gambar 4.8 Grafik rata-rata persen reduction area.....	45
Gambar 4.9 Grafik rata-rata kekerasan.....	46
Gambar 4.10 Struktur mikro <i>Aluminium Matrix Composite</i> dengan perbesaran 200x (a) 10 % fraksi volume alumina dan (b) 15% fraksi volume alumina	47
Gambar 4.11 Struktur mikro <i>Aluminium Matrix Composite</i> dengan perbesaran 200x (a) 20 % fraksi volume alumina dan (b) 25% fraksi volume alumina	47
Gambar 4.12 Hasil uji SEM dengan perbesaran aluminium matrix composite kadar 20 % volume fraksi (a) 1000x dan (b) 5000x	48
Gambar 4.13 Hasil uji SEM dengan perbesaran aluminium matrix composite kadar 25 % volume fraksi (a) 1000x dan (b) 5000x	49
Gambar 4.14 Hasil uji EDX aluminium matrix composite kadar 25 % volume fraksi dengan perbesaran 2000x ...	50
Gambar 4.15 Hasil uji EDX titik nomer 1	51
Gambar 4.16 Hasil uji EDX titik nomer 2	52
Gambar 4.17 Hasil uji EDX titik nomer 3	53
Gambar 4.18 Hasil uji EDX titik nomer 4	54

Gambar 5.1 Struktur mikro <i>Aluminium Matrix Composite</i> dengan perbesaran 200x (a) 10% fraksi volume alumina, (b) 15% fraksi volume alumina.....	61
Gambar 5.2 Struktur mikro <i>Aluminium Matrix Composite</i> dengan perbesaran 200x (a) 20% fraksi volume alumina dan (b) 25% fraksi volume alumina	62
Gambar 5.3 Persebaran porositas pada spesimen 0% fraksi volume alumina	66
Gambar 5.4 Persebaran porositas pada spesimen 10% fraksi volume alumina	66
Gambar 5.5 Persebaran porositas pada spesimen 15% fraksi volume alumina	67
Gambar 5.6 Persebaran porositas pada spesimen 20% fraksi volume alumina	67
Gambar 5.7 Persebaran porositas pada spesimen 25% fraksi volume alumina	67

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti dari <i>Metal Matrix Composite</i> yang menggunakan berbagai tipe <i>Reinforced</i>	19
Tabel 2.2 Perbandingan Produk Hasil Proses <i>Stir Casting</i> Dengan Metode Lain	54
Tabel 3.1 Komposisi Campuran Bahan	55
Tabel 3.2 Massa penyusun campuran bahan	66
Tabel 3.3 Tabel Data Hasil Pengujian Tarik.....	67
Tabel 3.4 Tabel Data Hasil Pengujian Kekerasan	69
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Spectrometry</i>	73
Tabel 4.2 Data Awal Pengujian Tarik	75
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Tarik.....	76
Tabel 4.4 Data Pengujian Kekerasan.....	78
Tabel 5.1 Hasil reaksi <i>interface</i> pada <i>chemical bonding</i> ...	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era teknologi yang semakin maju, manusia terus berusaha menemukan material baru yang memiliki sifat-sifat unggul. Material yang digunakan pun diharuskan memiliki ketentuan tertentu untuk memenuhi kebutuhan. Tidak jarang material yang ada tidak bisa memenuhi ketentuan yang diinginkan dikarenakan sifat mekanik dan karakteristik dari material tidak sesuai. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi seperti di bidang komposit dapat menjadi alternatif untuk permasalahan yang timbul dan dapat memenuhi karakteristik dan sifat mekanik tertentu sesuai yang diinginkan.

Material komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dari dua atau lebih penyusun berbeda yaitu penguat dan *matrix*. *Matrix* dan penguat dikombinasikan dalam skala makroskopis. Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya merupakan kombinasi dari material penyusunnya. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase di antara fase matriks dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan. Komposit juga dapat dibedakan menurut matriks penyusunnya seperti *Metal Matrix Composite* (MMC), *Polimer Matrix Composite* (PMC) dan *Ceramic Matrix Composite* (CMC). *Metal Matrix Composite* (MMC) adalah komposit dengan matriks aluminium dengan penguat partikel memberikan sejumlah alternatif penggunaan karena komposit ini memiliki keunggulan dari sisi kapasitas panas spesifik, konduktivitas panas tinggi, massa jenis rendah, kekuatan spesifik tinggi, kekakuan spesifik tinggi, koefisien ekspansi baik serta ketahanan aus.

Salah satu teknologi temuan manusia yang berperan besar dalam menunjang kehidupan sehari-hari ialah motor bakar. Material motor bakar belakangan ini didominasi oleh aluminium dimana logam ini relatif ringan sehingga dapat meningkatkan

efisiensi penggunaan motor bakar. *Aluminium Matrix Composites* (AMC) adalah jenis komposit logam yang sering digunakan dan dapat menguntungkan apabila digunakan pada aplikasi permesinan. AMC menyediakan gabungan sifat yang baik dibanding material monolit atau paduannya. Salah satu bagian mesin yang penting adalah silinder ruang bakar, yaitu bagian yang berfungsi sebagai wadah pembakaran campuran bahan bakar dan udara. Hasil dari pembakaran tersebut akan menggerakkan piston. Gesekan antara piston dan silinder ruang bakar akan sering terjadi. Oleh karena itu silinder piston banyak diteliti dengan menggunakan material *aluminium matrix composite* sebagai pengganti dari paduan aluminium.

Metal Matrix Composite memiliki beberapa metode dalam proses pembuatannya, seperti *sintering*, *casting*, ataupun *stir casting*. Pada penelitian ini menggunakan teknik *stir casting* dikarenakan metode ini yang paling murah dan sering digunakan. Pada teknik *stir casting* ini, material penguatnya dimasukkan ke dalam aluminium cair dan kemudian diaduk menggunakan mesin dengan putaran konstan agar memastikan antara *matrix* dengan *reinforcement* dapat tercampur dengan tepat.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian *metal matrix composite* ini adalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap nilai pengujian tarik.
2. Bagaimana pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap nilai kekerasan material.
3. Bagaimana pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap struktur mikro *metal matrix composite*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Parameter dalam proses pengecoran seperti temperatur, waktu penuangan, putaran pengaduk dianggap konstan.
2. Alumunium yang digunakan mempunyai komposisi kimia yang sama.
3. Ukuran partikel Al_2O_3 yang digunakan dianggap seragam.

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan perumusan masalah yang timbul, penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh variasi penambahan Al_2O_3 terhadap nilai pengujian tarik.
2. Mempelajari pengaruh variasi penambahan Al_2O_3 terhadap nilai kekerasan material.
3. Mempelajari pengaruh variasi penambahan Al_2O_3 terhadap struktur mikro *metal matrix composite*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini untuk menambah pengetahuan tentang pengaruh penambahan fraksi volume Al_2O_3 sebagai penguat dan matriks aluminium dalam pembuatan *Metal Matrix Composite* terhadap sifat mekanik material serta pada bidang teknologi otomotif juga dapat diaplikasikan untuk bahan pada dinding silinder mesin.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi mengenai latar belakang dilakukannya penulisan tugas akhir ini, rumusan masalah yang muncul, tujuan dan manfaat penelitian, serta batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini berisi uraian dasar teori maupun sumber pendukung yang digunakan penulis yang berhubungan dengan masalah pengujian tarik dan kekerasan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi data masukan mengenai pengujian tarik dan kekerasan.

BAB 4. DATA HASIL PENGUJIAN

Pada bab ini berisi pembahasan dari pengujian tarik dan kekerasan yang telah dilakukan pada spesimen serta metalografinya.

BAB 5. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi pembahasan dari pengujian yang telah dilakukan pada spesimen dan pembahasan metalografi.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi beberapa kesimpulan yang didapat berdasar pada tujuan awal dilakukannya tugas akhir ini. Pada bab ini juga berisi saran terhadap pengerjaan tugas akhir ini sebagai bahan perbaikan yang dapat digunakan untuk pengerjaan tugas akhir sejenis berikutnya.

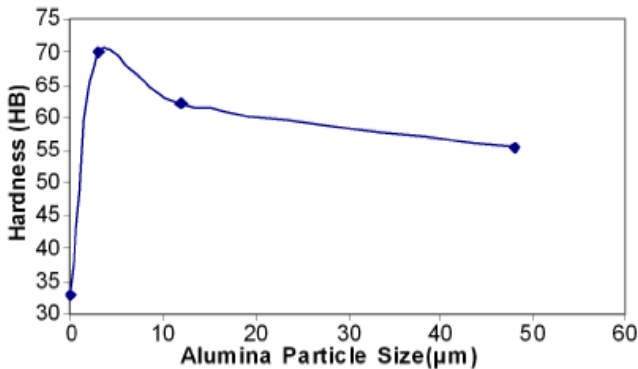
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

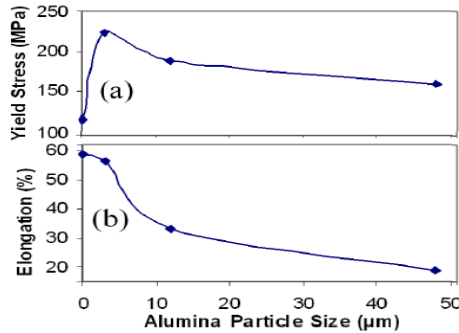
Penelitian yang dilakukan oleh N.Parvin dan M. Rahimian menggunakan penguat Al_2O_3 dengan ukuran butiran 3, 12 dan 48 μm dan volume fraksi masing ukuran butiran sebesar 10 %. Proses produksi menggunakan metode sintering dan beberapa pengujian seperti uji tarik, uji kekerasan dan *scanning electron microscope* (SEM).

Hasil dari penelitian yang dilakukan pada gambar 2.1 didapatkan material Al- Al_2O_3 memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan material Al murni. Nilai kekerasan cenderung menurun sesuai dengan bertambahnya ukuran butiran Al_2O_3 .



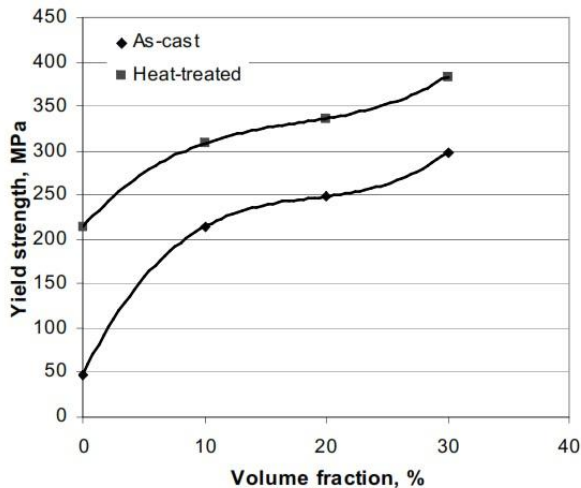
Gambar 2.1 Grafik Pengaruh Ukuran Butiran Partikel Al_2O_3 terhadap Nilai Kekerasan Material Al- Al_2O_3

Nilai *Yield strength* material Al- Al_2O_3 mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan material Al dan menurun dengan bertambahnya ukuran butiran partikel Al_2O_3 . Elongation dari material Al- Al_2O_3 menurun jika dibandingkan dengan material Al dijelaskan pada gambar 2.2.



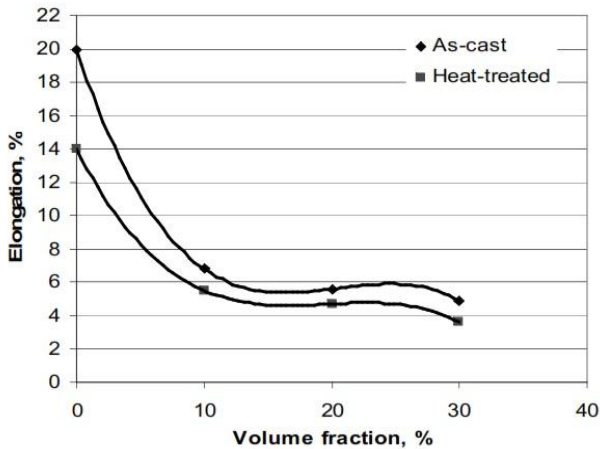
Gambar 2.2 Grafik Pengaruh Ukuran Butiran Al_2O_3 terhadap (a) nilai *yield strength* dan (b) *elongation*

Penelitian yang dilakukan Chennakesava Reddy dan A, Essa Zitoun menggunakan matriks Al6063 dengan penguat Al_2O_3 . Ukuran butiran Al_2O_3 sebesar 10 mikron dan variasi volume fraksi 10%, 20%, dan 30%. Proses pembuatan *metal matrix composite* menggunakan metode *stir casting*. Pada gambar 2.3 *Yield strength* didefinisikan sebagai tegangan, sesuai dengan regangan plastik 0.2%. Grafik menunjukkan *yield strength* meningkat seiring dengan meningkatnya volume fraksi dari Al_2O_3 pada *composite*. Dengan meningkatnya volume fraksi maka, lebih banyak beban yang ditransfer ke penguat (*reinforcement*) Al_2O_3 yang menyebabkan tingginya *yield strength*. Peningkatan *yield strength* sebesar 84% pada paduan 6063 ketika variasi volume fraksi 30% Al_2O_3 .



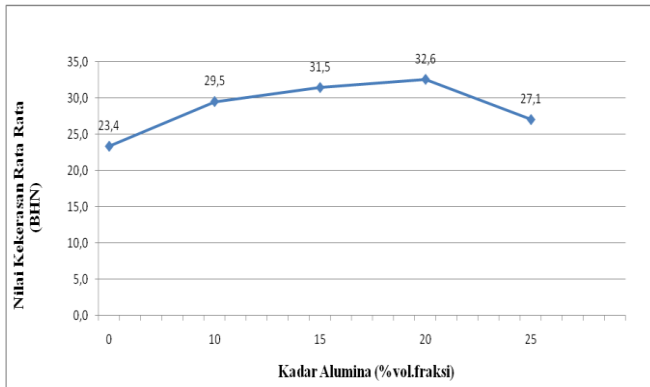
Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Volume Fraksi Al_2O_3 terhadap *Yield Strength*

Pada gambar 2.4 penurunan nilai keuletan sebanyak 76% saat volume fraksi 30% Al_2O_3 . Penurunan nilai keuletan dapat disebut juga sebagai permulaan dari kekosongan struktur paduan yang dipicu oleh peningkatan volume dari penguat Al_2O_3 .



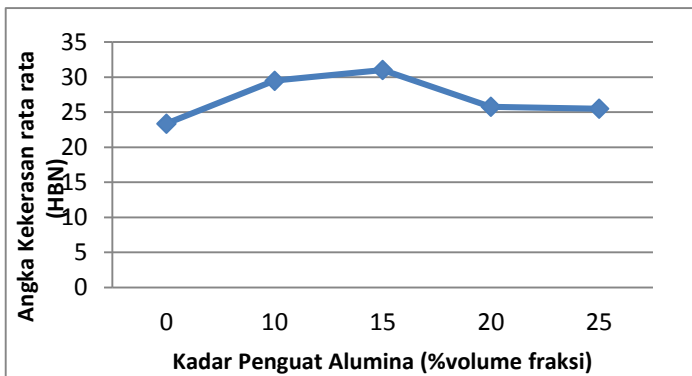
Gambar 2.4 Grafik Pengaruh Volume Fraksi Al_2O_3 terhadap % *Elongation*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Krisna Bilal Alief menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan Brinnel. Gambar 2.5 diperoleh nilai kekerasan yang meningkat dari aluminium murni dengan kadar 0 persen hingga 20 persen fraksi volume alumina kemudian menurun pada kadar 25 persen fraksi volume alumina. Nilai kekerasan pada produk meningkat disebabkan karena partikel alumina mengisi matriks aluminium. Partikel alumina akan mencegah terjadinya dislokasi pada matriks aluminium. Akan tetapi pada hasil pengujian nilai kekerasan pada persentase 25 fraksi volume alumina mengalami penurunan. Terjadinya penurunan nilai kekerasan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor porositas.

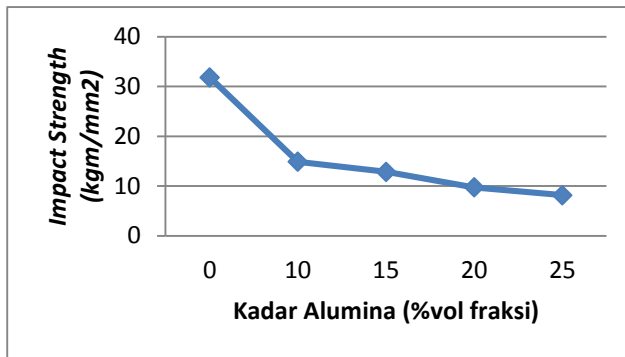


Gambar 2.5 Grafik rata-rata nilai kekerasan

Sedangkan penelitian yang dilakukan Fuad Nashier Effendy menjelaskan grafik hasil uji kekerasan rata rata *aluminium matrix composite* gambar 2.6 berdasarkan masing kadar volume alumina. Terlihat kecenderungan yang naik dari spesimen 1 sampai spesimen 3 yaitu kadar 0 sampai 15 persen fraksi volume alumina. Kemudian menurun kembali pada spesime 4 dan spesimen 5, yaitu kadar 20 dan 25 persen fraksi volume alumina.



Gambar 2.6 Grafik rata-rata nilai kekerasan



Gambar 2.7 Grafik rata-rata beban kejut

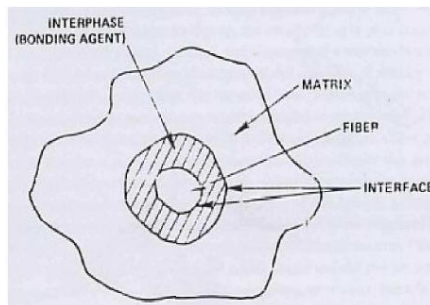
Gambar 2.7 adalah penelitian dari Fuad Nashier Effendy menunjukkan grafik ketahanan beban kejut spesimen aluminium matriks komposit. Spesimen dengan volume fraksi 0% merupakan spesimen dengan ketahanan nilai beban kejut paling tinggi. Seiring dengan bertambahnya kadar fraksi volume alumina, ketahanan beban kejut material aluminium matriks komposit menurun. Dalam studi ini, spesimen dengan volume fraksi 25% mempunyai ketahanan beban kejut paling rendah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Komposit

Komposit merupakan material yang terdiri atas dua atau lebih material penyusun. Definisi lain menyatakan bahwa komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan sifat masing-masing bahan penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase diantara fase *matrix* dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan. Dasar kekuatan komposit terletak pada kekuatan *interface* matriks dan penguat.

Jika ikatan *interface* terjadi dengan baik maka transmisi tegangan dapat berlangsung dengan baik pula. Kualitas ikatan antara matriks dengan *reinforcement* dipengaruhi beberapa variabel seperti ukuran partikel, fraksi volume material, komposisi material, bentuk partikel, kecepatan dan waktu pencampuran, penekanan (*kompaksi*) dan pemanasan (*sintering*).



Gambar 2.8 Fase - Fase Pada Komposit

Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan material dasar diantaranya memiliki berat yang lebih rendah dari material dasarnya dikarenakan mempunyai densitas yang lebih rendah, memiliki ketahanan *fatigue* yang baik, serta memiliki ketahanan terhadap keausan yang baik pula. Dengan berbagai keunggulan yang dimiliki bahan komposit banyak diterapkan dalam dunia industri otomotif dan penerbangan.

2.2.1.1 Matriks (Matrix)

Pada teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi untuk pengisi, pengikat, melindungi serta mendistribusikan dan menahan tegangan yang diterima material komposit tersebut.

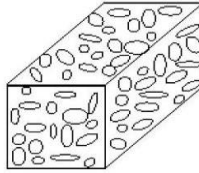
Komposit dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan jenis matriksnya, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite (PMC)*
Merupakan komposit yang menggunakan polimer sebagai matriksnya.
Contoh: *glass fiber reinforced polymer* dan *carbon fiber reinforced polymer*.
2. *Metal Matrix Composite (MMC)*
Merupakan komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya.
Contoh: aluminium, magnesium.
3. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*
Merupakan komposit yang menggunakan keramik sebagai matriksnya.
Contoh: *aluminium titanate, silicon carbide*.

2.2.1.2 Penguat (Reinforcement)

Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat yang lebih kuat dari fase matriks dan merupakan tempat melekatnya matriks. Penguat merupakan unsur utama dalam struktur komposit yang berfungsi menahan mayoritas pembebanan yang diterima struktur komposit sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik bahan komposit seperti kekakuan, kekuatan dan sifat-sifat mekanik lainnya. Beberapa jenis penguat berdasarkan bentuk dari fase penguatnya dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

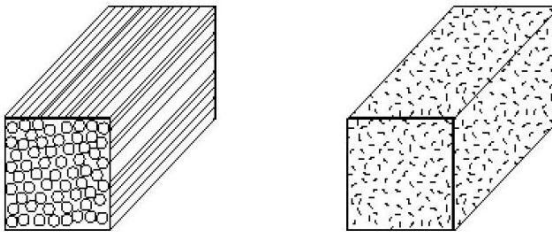
1. *Particle Reinforced Composite (PRC)*
Komposit yang penguatnya berbentuk partikel (*granular*):



Gambar 2.9 Particle Reinforced Composite

2. *Fiber Reinforced Composite (FRC)*

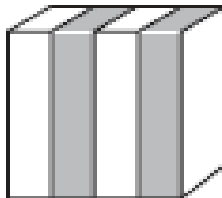
Komposit yang penguatnya berbentuk serat, baik serat panjang (*continous*) maupun serat pendek (*discontinuous*):



Gambar 2.10 Fiber Reinforced Composite

3. *Laminar Reinforced Composite (LRC)*

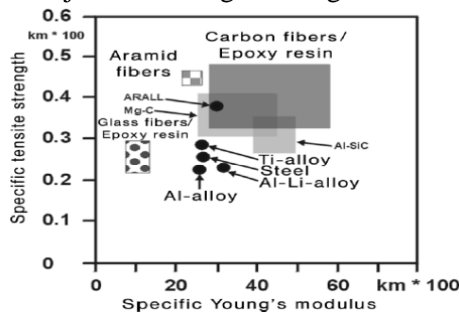
Komposit yang penguatnya berbentuk lapisan (*laminate*)



Gambar 2.11 Laminar Reinforced Composite

2.2.2 Metal Matrix Composite

Metal Matrix Composite (MMC) adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam. Matriks pada metal matriks komposit mempunyai karakteristik seperti keuletan yang tinggi, titik lebur yang rendah serta densitas yang rendah. Aluminium beserta paduannya, titanium beserta paduannya dan magnesium beserta paduannya merupakan contoh dari metal matriks. Tipe penguat yang digunakan diantaranya silicon carbide, alumina, titanium carbide dan sebagainya. Perpaduan antara fase matriks dengan fase penguat ini akan didapatkan sifat yang diinginkan dalam proses penggunaannya. Sebagai contoh penambahan Al_2O_3 pada aluminium dapat meningkatkan nilai kekerasan material aluminium- Al_2O_3 jika dibandingkan dengan aluminium alloy.



Gambar 2.12 Perbandingan spesifik *tensile strength* dan spesifik *stiffnes metal alloy* dengan MMCs

Logam aluminium dan paduannya memiliki massa jenis yang rendah dan mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan dengan material baja. Namun bila aluminium ditambahkan keramik sebagai penguat maka kekuatan material komposit akan meningkat secara signifikan bahkan melebihi sifat besi tuang dan baja. Seperti diperlihatkan gambar 2.12, memperlihatkan perbandingan kekuatan dan modulus Young berbagai jenis logam dengan komposit. Nilai kekuatan dan

modulus Young komposit Al-SiC lebih tinggi dari pada paduan Ti, baja dan paduan Al.

Tabel 2.1 Properti dari *Metal Matrix Composite* yang menggunakan berbagai tipe *Reinforced*

<i>MMC type</i>	<i>Properties Strength</i>	<i>Young's modulus</i>	<i>High temperature properties</i>	<i>Wear</i>	<i>Expansion coefficient</i>	<i>Costs</i>
mineral wool: MMC	*	*	**	**	*	medium
discontinuous reinforced MMC	**	**	*	***	**	low
long fiber reinforced MMC: C fibers	**	**	**	*	***	high
other fibers	***	***	***	*	**	high

Secara prinsip penguat yang kontinyu akan memberikan sifat mekanik yang lebih baik. Akan tetapi metode pembuatannya lebih mahal jika dibandingkan dengan penguat jenis *discontinuous* sehingga sekarang banyak dikembangkan komposit dengan *discontinuous reinforce*. Meskipun komposit dengan *discontinuous reinforce* tidak menghasilkan sifat yang sama dan cenderung lebih rendah, akan tetapi biaya yang dibutuhkan lebih murah serta metode pembuatannya lebih mudah.

2.2.2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang berjumlah sekitar 8 % dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga tetapi tidak ditemukan secara bebas di alam. Aluminium mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi serta konduktifitas listrik yang baik. Oleh karena itu, aluminium digunakan dalam banyak industri seperti konstruksi, badan pesawat terbang dan

transportasi. Material aluminium banyak digunakan dikarenakan juga memiliki sifat mampu bentuk (*wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas. Pada lapisan luar, aluminium selalu tertutup oleh lapisan tipis oksida yang memang merupakan sifat dari aluminium. Oksida inilah yang mempunyai sifat melindungi aluminium dari korosi.

Aluminium mempunyai massa jenis sebesar 2,7 g/cm³ dan memiliki nilai kekuatan yang rendah sehingga tidak bisa langsung digunakan untuk keperluan industri. Penambahan unsur seperti tembaga (Cu), silikon (Si), atau magnesium (Mg) akan menghasilkan paduan aluminium yang memiliki nilai kekuatan yang lebih besar. Sementara itu, aluminium juga memiliki beberapa kekurangan seperti : kekakuan yang rendah, tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap abrasi dan *wear* serta titik leburnya yang cukup rendah yaitu sekitar 660°C. Dengan adanya keunggulan dan kekurangan yang dimiliki aluminium menjadikan aluminium sebagai logam yang paling banyak digunakan untuk obyek riset pada komposit bermatriks logam.

2.2.2.2 Aluminium Oxide (Alumina)

Aluminium Oxide merupakan material keramik yang paling penting. Material yang lebih banyak disebut dengan alumina ini merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia Al₂O₃. Material ini memiliki titik lebur pada suhu 2072°C dan mampu mempertahankan kekuatannya hingga suhu 1500 °C sampai 1700 °C. Material ini juga memiliki *wear resistance* yang baik, nilai kekerasan yang cukup tinggi.

Alumina merupakan salah satu penguat pada *metal matrix composite* yang tergolong pada material keramik. Seperti halnya material keramik lainnya, alumina memiliki sifat tahan aus yang baik karena memiliki nilai kekerasan yang baik pula. Selain itu alumina juga memiliki sifat tahan terhadap korosi, titik leleh yang cukup tinggi, konduktivitas termalnya

yang rendah dan tahan terhadap suhu lingkungan yang tinggi. Untuk aplikasi pemakaian yang berhubungan dengan gesekan khususnya yang membutuhkan gaya gesek yang besar, aluminium dengan penguat alumina merupakan pilihan yang tepat.

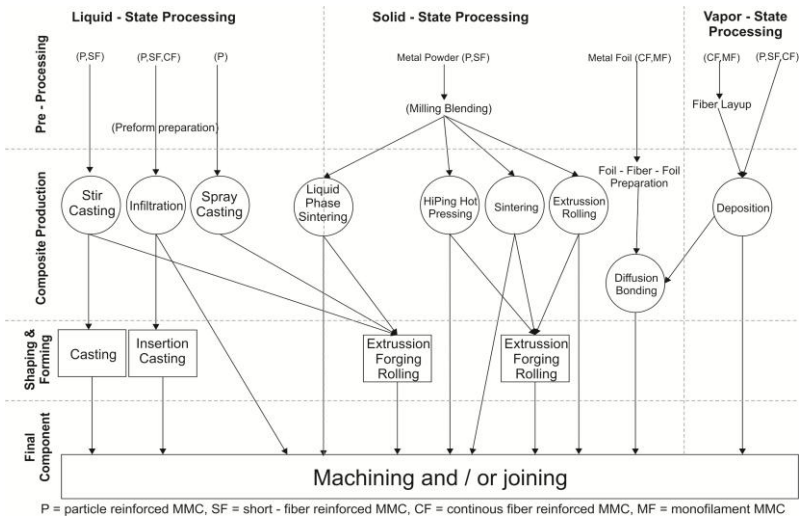
2.2.3 Aluminium Matrix Composite (AMC)

Salah satu jenis komposit matrik logam yang banyak dikembangkan industri motor dewasa ini adalah komposit yang matriknya berupa logam (*metal matrix composite*) yaitu komposit bermatriks aluminium (*aluminium matrix composite*).

Matriks yang digunakan dalam *aluminium matrix composite* dapat berupa aluminium murni atau paduan Al seperti Al-Si, Al-Cu, 2xxx, 6xxx dan 7xxx, sedangkan penguat yang umum digunakan adalah Al_2O_3 . Pemakaian bahan aluminium dan atau paduannya sebagai matriks karena memiliki sifat yang sangat menarik yaitu densitas rendah, memiliki kemampuan untuk dikuatkan dengan pengendapan presipitat, ketahanan korosi sangat baik, konduktifitas panas dan listrik yang tinggi. *Aluminium matrix composite* dapat menghasilkan karakteristik mekanik yang bervariasi tergantung jenis paduannya.

2.2.4 Proses Produksi Metal Matrix Composite

Untuk pembuatan *metal matrix composite* ada beberapa metode yang digunakan. Metode pembuatan yang digunakan untuk membuat komposit ini tergantung dari jenis fase matrik sebelum ditambahkan penguat. Setiap proses memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri, termasuk perhitungan biaya produksi. Beberapa model pembuatan *metal matrix composite* dapat dijelaskan pada gambar 2.13:



Gambar 2.13 Klasifikasi Pembuatan Metal Matrix Composite

Pada proses matriks fase cair (*liquid state processing*), pembuatan *metal matrix composite* terbagi atas:

- **Stir Casting**
Logam cair ditambahkan penguat dalam bentuk serbuk kemudian diaduk sampai berbentuk bubur.
- **Infiltration**
Logam cair diinjeksikan ke dalam *interstice* dan disusun dari serat pendek kemudian dilakukan penyisipan partikel pada fase cair.
- **Spray Casting**
Penyemprotan partikel penguat terhadap matriks komposit.

Pada proses matriks fase padat (*solid state processing*), pembuatan *metal matrix composite* terbagi atas:

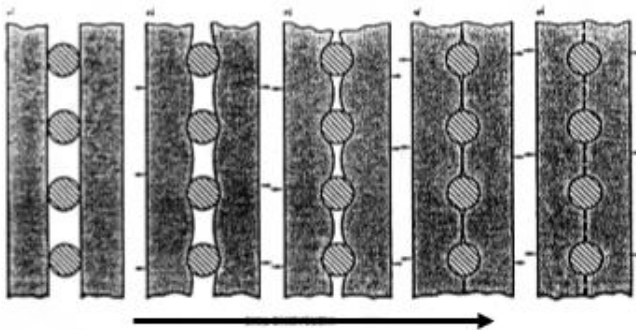
- **Sintering**

Dimana material ditekan dan dilakukan pembentukan campuran dengan serbuk komposit.

- Ekstrusi

Dimana material dibentuk dengan penyemprotan partikel penguat pada material yang kemudian dibentuk menjadi profil – profil tertentu.

Adapun metode pembentukan fase padat komposit yang lain, yaitu *bonding diffusion*. Unsur-unsur komposit (lapisan) yang dirakit oleh *layering array* (atau pembungkus untuk bentuk silinder atau cincin) serat dan matriks untuk mencapai orientasi serat yang telah ditentukan dan ketebalan komposit. Penggabungan komposit dicapai dengan menerapkan tekanan tinggi dalam arah normal ke permukaan lapis pada temperatur yang cukup untuk menghasilkan difusi atom dari paduan matriks. Proses ini dilakukan di lingkungan vakum.



Gambar 2.14 Bonding Fusion

Sedangkan pada proses fase gas (*Vapor State Processing*), infiltrat yang telah meleleh dicampur dengan gas *inert* dari luar. Proses pencampuran gas *inert* terhadap matrik ini berlangsung di sebuah bejana tekan.

2.2.4.1 Stir Casting

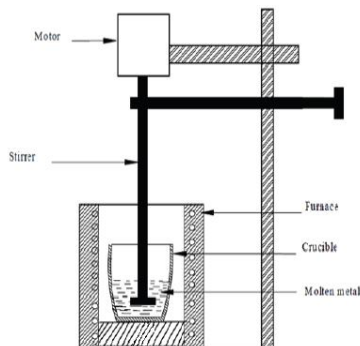
Proses pengecoran dengan metode *stir casting* merupakan salah satu metode pembuatan *metal matrix composite* dengan matriks fase cair. Metode *stir casting* ini memiliki beberapa keunggulan seperti dalam segi biaya tidak membutuhkan banyak biaya dan pembuatan yang relatif mudah.

Tabel 2.2 Perbandingan Produk Hasil Proses *Stir Casting* Dengan Metode Lain

A comparative evaluation of the different techniques used for DRMMC fabrication				
Method	Range of shape and size	Metal Yield	Damage to Reinforcement	Cost
<i>stir casting</i>	wide range of shapes; larger size; up to 500 kg	very high, > 90%	no damage	least expensive
<i>Squeeze casting</i>	limited by preform shape; up to 2 cm height	Low	severe damage	moderately expensive
<i>Powder metallurgy</i>	wide range; restricted size	High	reinforcement fracture	Expensive
<i>Spray casting</i>	limited shape; large size	Medium	-	Expensive

<i>Lanxide technique</i>	limited by pre-form shape; restricted size	-	-	Expensive
--------------------------	--	---	---	-----------

Pada metode *stir casting*, logam cair dicampur dengan partikel penguat dalam bentuk serbuk kemudian diaduk dengan pengaduk mekanik. Kemudian material komposit cair di cor menggunakan metode cor konvensional ataupun dengan menggunakan teknologi pembentukan konvensional lainnya. Pemilihan metode *stir casting* dalam pembuatan material ini dikarenakan teknik ini dapat membuat komposit logam dengan distribusi partikel penguat yang mayoritas merata dan homogen untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik dengan proses pengadukan yang benar.



Gambar 2.15 Mekanisme Proses *stir casting*.

2.2.5 Perhitungan

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan teknik tersebut diperoleh dengan cara membagi beban yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji.

$$S = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

dimana :

s : besarnya tegangan (kg/mm^2)

P : beban yang diberikan (kg)

A_0 : Luas penampang awal benda uji (mm^2)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal.

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.2)$$

dimana :

e : Besar regangan

L : Panjang benda uji setelah pengujian (mm)

L_0 : Panjang awal benda uji (mm)

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan.

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.3)$$

dimana ;

E : Besar modulus elastisitas (kg/mm^2),

e : regangan

σ : Tegangan (kg/mm^2)

Kekuatan ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*Yield Strength*) dan kuat tarik (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength* / UTS), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (2.4)$$

dimana ;

S_u : Kuat tarik

P_{maks} : Beban maksimum (Kg)

A_0 : Luas penampang awal benda uji (mm^2)

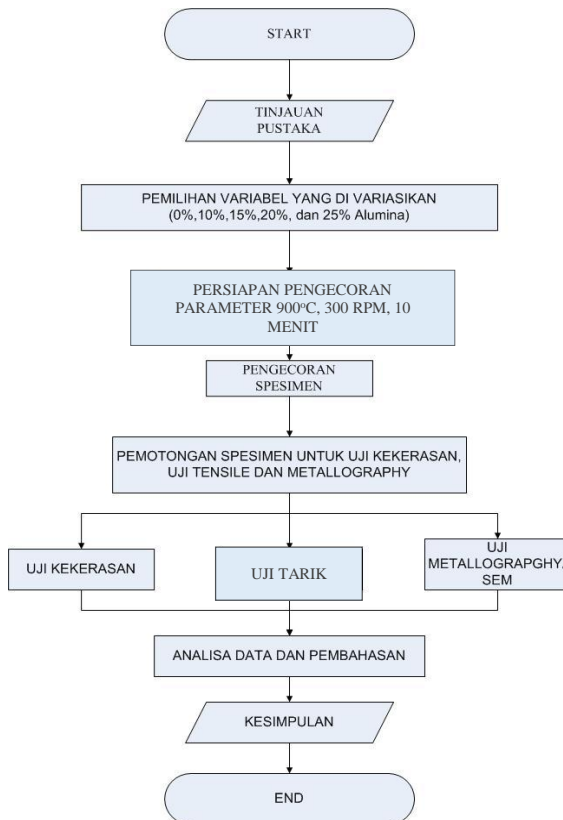
“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Eksperimen

Diagram alir yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Supaya penelitian lebih terarah sesuai diagram alir pada gambar 3.1 maka perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan kajian dari berbagai sumber yang berkaitan dengan penelitian. Hal-hal yang dikaji antara lain proses pengecoran serta beberapa parameter hasil pengecoran. Lalu kajian pengaruh uji tarik dan kekerasan aluminium terhadap penambahan Al_2O_3 . Sumber kajian diperoleh dari buku-buku referensi, internet dan beberapa jurnal penelitian terdahulu yang terkait dengan topik penelitian ini.

2. Proses Pengecoran

Pengecoran diawali dengan mencairkan Aluminium potongan dan Al_2O_3 dengan berat yang telah ditentukan pada temperature 700°C menggunakan tungku krusibel. Lalu diaduk dengan *mixer* sampai tercampur rata. Hasil peleburan dituangkan kedalam *flask* yang telah terisi oleh pola cetakan dan pasir. Penuangan logam cair menggunakan *ladle* dilakukan secara cepat untuk menghindari penurunan temperatur yang terlalu drastis. Waktu tuang yang cepat dimasukkan agar logam cair mampu mengisi keseluruhan rongga cetak. Setelah produk cor mendingin hingga temperatur kamar, dilakukan pembungkaran cetakan dan pembersihan produk cor dari terak pasir cetak.

3. Pemotongan Spesimen

Produk hasil pengecoran kemudian dipotong untuk dilakukan pengujian kualitas pengecoran. Langkah yang harus dilakukan adalah terlebih dulu membuat benda uji/spesimen dengan cara *machining* bubut. Spesimen yang dibuat antara lain spesimen pengujian tarik dan spesimen pengujian kekerasan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Peralatan penelitian

Dalam penelitian ini proses pembuatan aluminium *matrix composite* menggunakan metode *stir casting*. Alat yang digunakan adalah:

1. Tungku krusibel

Tungku krusibel merupakan salah satu jenis tungku dengan system pemanasan tidak langsung (*indirect fuel fired furnace*). Fungsi utamanya untuk melebur logam aluminium dan sejenisnya. Peleburan logam dilakukan dengan menggunakan krusibel yang dipanaskan bagian luarnya secara konduksi melalui dinding krusibel dengan sumber panas dari gas, seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.2 Tungku Krusibel.

2. Mesin Bubut

Mesin bubut digunakan untuk membuat bentuk pola *sprue* dan pola *well base*.



Gambar 3.3 Mesin Bubut

3. *Ladle*

Ladle (cawan tuang) yang digunakan untuk wadah mencairkan bahan alumunium yang dicampur dengan Al_2O_3 .



Gambar 3.4 Ladle

4. Mesin Uji Hardness FRANK

Brinell hardness tester adalah pengujian kekerasan suatu bahan dengan menggunakan bola baja.

Merek mesin yang digunakan dalam uji kekerasan ini yaitu FRANK.

5. Thermometer

Untuk mengukur temperatur tuang digunakan thermometer.

6. Mesin Uji Tarik

Mesin yang digunakan adalah mesin uji tarik universal WOLPERT kapasitas 30 Ton.

7. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat spesimen sehingga yang memerlukan ketelitian tinggi dan untuk menimbang berat paduan aluminium yang akan di cor.



Gambar 3.5 Timbangan Digital

8. Mesin *Grinding* dan *Polishing*

Mesin grinding dan polishing ini digunakan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen. Sehingga dapat digunakan dalam pengamatan uji kekerasan. Spesimen diratakan dengan menggunakan amplas dari grid 400 s/d 2000, kemudian setelah itu spesimen dihaluskan dengan kain poles beludru, sampai spesimen halus tanpa bekas goresan hasil pemotongan.

9. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Jangka Sorong ketelitian 0.1mm (gambar 3.12) digunakan untuk mengukur dimensi pola dan pada produk cor.



Gambar 3.6 Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

10. Mesin Gergaji

Mesin gergaji digunakan untuk memotong ingot material Metal Matrix antara aluminium dengan Al_2O_3 dan untuk memotong spesimen uji kekerasan.

3.2.2 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan *aluminium matrix composite* sebagai berikut:

1. Aluminium bekas yang dipotong

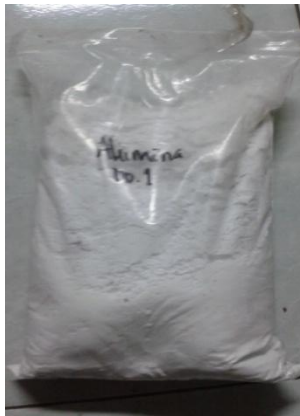
Material yang akan digunakan untuk logam pengisi atau logam cair yaitu Aluminium 4xxx berbentuk potongan seperti ditunjukkan pada gambar 3.14. Material ini didapat dari CV. Jaya Aluminium Glass, yang beralamatkan di Jl. Semolowaru Utara 5 No. 7.



Gambar 3.7 Potongan Aluminium

2. *Aluminium oxide* (Al_2O_3)

Aluminium oxide yang dipilih adalah ukuran butirnya 1 mikron, dapat dilihat dari gambar 3.15.



Gambar 3.8 Bubuk *aluminium oxide* 1 mikron

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pembuatan *aluminium matrix composite* adalah komposisi bahan penyusun material komposit tersebut yang terdiri dari aluminium sebagai matriks dan Al_2O_3 sebagai penguat. Variasi komposisi campuran bahan untuk setiap ukuran partikel Al_2O_3 ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Campuran Bahan

Kode spesimen	Alumina (%)	Aluminium (%)
1	0	100
2	10	90
3	15	85
4	20	80
5	25	75

Tabel 3.2 Massa penyusun campuran bahan

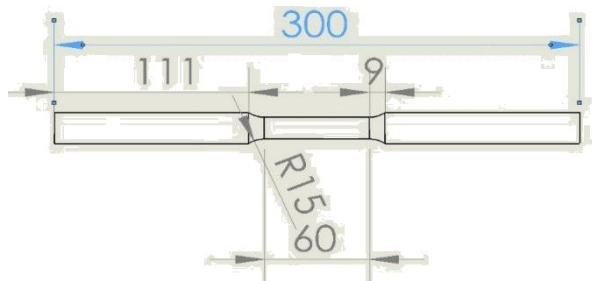
Kode spesimen	Alumina (gram)	Aluminium (gram)
1	0	6482.56
2	648.256	5834.304
3	972.384	5510.176
4	1296.512	5186.048
5	1620.64	4861.92

3.4 Pembuatan Aluminium Matrix Composite

3.4.1 Proses Stir Casting

1. Persiapan material serta cetakan coran yang akan digunakan.
2. Aluminium yang telah dipotong kecil kemudian ditimbang sesuai variable pengujian yang telah ditentukan yaitu sebesar 100%, 90%, 85%, 80% dan 75% dari fraksi volume.

3. Al_2O_3 ditimbang sesuai variable pengujian yang telah ditentukan yaitu sebesar 10 %, 15%, 20% dan 25 % dari fraksi volume.
4. Al_2O_3 yang telah ditimbang selanjutnya dibungkus dengan aluminium foil.
5. Aluminium dimasukkan kedalam *ladle* yang telah di atur pada suhu 900°C .
6. Setelah aluminium cair sepenuhnya, partikel Al_2O_3 yang telah dibungkus aluminium foil dimasukkan kedalam *ladle* yang berisi aluminium cair.
7. Aluminium cair dan Al_2O_3 diaduk dengan menggunakan *mixer* selama 10 menit guna menyebarkan partikel Al_2O_3 kedalam matriks.
8. Setelah pengadukan selesai komposit Al- Al_2O_3 dituangkan kedalam cetakan dan didinginkan pada suhu kamar.
9. Komposit Al- Al_2O_3 yang telah mengeras dikeluarkan dari cetakan pasir.
10. Kemudian komposit Al- Al_2O_3 di-*machining* sesuai dengan dimensi untuk pengujian dengan standar ASTM B557-M.



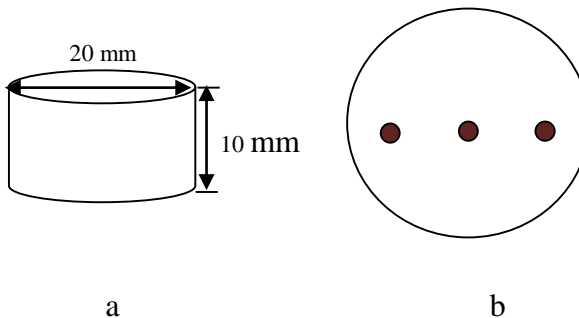
Gambar 3.9 Spesimen pengujian tarik

3.5 Pengujian Spesimen

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa pengujian terhadap spesimen yang telah dihasilkan, yaitu:

3.5.1 Pengujian Kekerasan

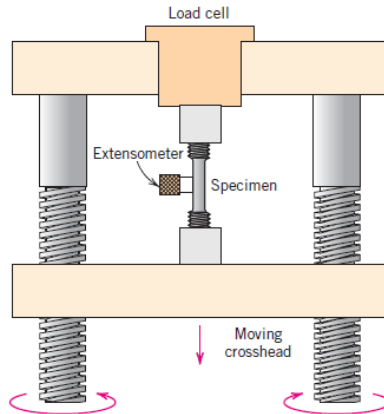
Pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell dengan menggunakan mesin uji FRANK. Indentor yang dipakai adalah bola baja dengan diameter 2,5 mm. Pembebanan yang diberikan adalah 62,5 KP. Spesimen uji hardness berbentuk tabung berdiameter 20 mm dan tinggi 10 mm. Untuk titik pengujian berjumlah 5 titik bervariasi fraksi volume dapat dilihat seperti gambar 3.20 (b).



Gambar 3.10 (a) Dimensi spesimen uji (b) titik pengujian spesimen

3.5.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik menggunakan standar JIS Z 2201, sedangkan disesuaikan dimensi dari standar ASTM B557-M. Selama proses pengujian tarik yang diperhatikan adalah perubahan yang terjadi pada spesimen maupun grafik, besarnya beban luluh (P_y), perpanjangan saat luluh (Δl_y), beban maksimum (P_u), perpanjangan saat maksimum (Δl_u), beban saat patah (P_f), dan perpanjangan saat patah (Δl_f). Data yang diperoleh dari mesin uji tarik adalah gaya yang bekerja (F), pertambahan panjang (Δl), grafik $F-\Delta l$ atau $\sigma - \epsilon$.



Gambar 3.11 Ilustrasi mesin uji tarik

3.5.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro ini menggunakan spesimen uji kekerasan silinder berdiameter 20 mm dan tinggi 10 mm. Selanjutnya spesimen dipreparasi dengan menggunakan prosedur metalografi standar yang melibatkan *grinding* dan *polishing*. Proses etsa dilakukan dengan mengusapkan larutan etsa kepermukaan spesimen. Larutan etsa yang digunakan adalah Keller Reagent selama 2 detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan alkohol 98%. Struktur mikro dari spesimen tersebut diamati dengan menggunakan mikroskop optis Olympus yang dilengkapi dengan kamera digital. Morfologi yang ada pada spesimen akan dianalisa dan didiskusikan secara menyeluruh.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB IV

DATA HASIL PENGUJIAN

Setelah proses pengecoran spesimen *aluminium matrix composite* dilakukan proses pembentukan spesimen sesuai dengan standart pengujian tarik dan pengujian kekerasan seperti pada gambar 4.2(a) dan 4.2(b), dengan spesimen awal pada gambar 4.1(a) dan 4.2(b) maka dilakukan pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan pengujian *metallography*. Dari pengujian tersebut diperoleh data yang selanjutnya dapat dianalisa.



(a)



(b)

Gambar 4.1(a) Spesimen awal pengujian tarik (b) pengujian kekerasan

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia pada aluminium yang digunakan sebagai matriks menggunakan pengujian *spectrometry*. Data hasil pengujian *spectrometry* didapatkan komposisi paduan dari matriks aluminium sehingga dapat diketahui jenis *grade* aluminium.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Spectrometry*

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Pb
Avg	86,3	8,46	1,46	1,45	0,166	0,100	0,125	0,179

Menggunakan material aluminium Seri 4xxx, yaitu Al-Si atau ADC 10.

4.2 Pengujian Mekanik

Tabel 4.2 Data Awal Pengujian Tarik

No.	Fraksi volume alumina (%)	Spesimen	Dia. Benda Uji (mm)	Luas area		Panjang ukur	
				Awal, A0 (mm2)	Akhir, A1 (mm2)	Awal, L0 (mm2)	Akhir, L1 (mm2)
1	0	1	12.6	124.62	122.66	69.18	70.85
		2	12.55	123.63	122.66	68.92	70.58
		3	12.55	123.63	122.26	69.77	70.34
		4	12.5	122.65	122.26	70.2	70.48
		5	12.55	123.64	122.46	69.97	70.95
2	10	1	12.55	123.64	122.46	70.39	71.04
		2	12.55	123.64	122.66	70.04	70.64
		3	12.55	123.64	122.66	69.57	69.7
		4	12.49	122.46	121.87	70.83	71.37
		5	12.53	123.24	122.26	70.01	70.64
3	15	1	12.5	122.66	122.07	69.9	71.17
		2	12.55	123.64	123.05	70.13	70.28
		3	12.55	123.64	123.44	69.95	70.71
		4	12.5	122.66	122.26	70.18	71.07
		5	12.6	124.63	123.64	69.51	70.35

No.	Fraksi volume alumina (%)	Spesimen	Dia. Benda Uji (mm)	Luas area		Panjang ukur	
				Awal, A0 (mm ²)	Akhir, A1 (mm ²)	Awal, L0 (mm ²)	Akhir, L1 (mm ²)
4	20	1	12.55	123.64	123.05	70.71	71.12
		2	12.53	123.24	122.85	69.94	70.76
		3	12.52	123.05	122.85	70.55	70.57
		4	12.55	123.64	122.85	70.17	70.46
		5	12.54	123.44	122.66	70.78	71.49
5	25	1	12.47	122.07	122.07	70.7	71.1
		2	12.51	122.85	122.26	70.38	71.18
		3	12.49	122.46	120.89	70.08	70.53
		4	12.52	123.05	122.66	70.14	70.36
		5	12.51	122.85	122.66	70.38	71.03

Berdasarkan data awal pengujian tarik di atas dengan variasi fraksi volume alumina 0%, 10%, 15%, 20% dan 25%, maka diperoleh hasil perhitungan dan pengujian sebagai berikut :

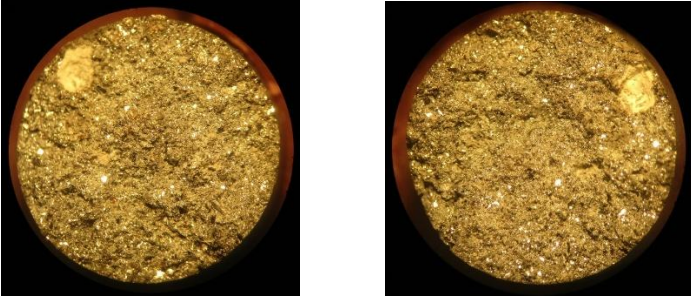
Tabel 4.2.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Beban Putus (N)	UTS (MPa)	Elongation (%)	Reduction Area (%)
12100	98.65	0.0241399	0.01581
10700	87.23	0.0240859	0.0079523
12700	103.87	0.0081697	0.0111243
16300	133.32	0.0039886	0.0031974
14900	121.67	0.014006	0.0095389
15300	124.94	0.0092343	0.0095389
10100	82.34	0.0085665	0.0079523
7000	57.07	0.0018686	0.0079523
10200	83.69	0.0076239	0.0047981
11400	93.24	0.0089987	0.0079649
7500	61.44	0.0181688	0.0047942
12100	98.33	0.0021389	0.0047752
7800	63.19	0.0108649	0.001593
14100	115.32	0.0126817	0.0031974
11300	91.39	0.0120846	0.0079208
12900	104.84	0.0057983	0.0047752
15600	126.98	0.0117243	0.0031898
14900	121.28	0.0002835	0.0015968
10500	85.47	0.0041328	0.0063643
12900	105.17	0.0100311	0.0063694
9200	75.37	0.0056577	0
10200	83.42	0.0113669	0.0047904
11600	95.95	0.0064212	0.0127692
10600	86.42	0.0031366	0.0031923
10600	86.42	0.0092356	0.0015981

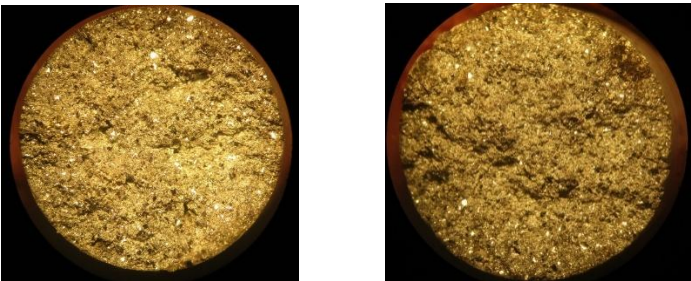


Keterangan :
Patah tengah
gage length

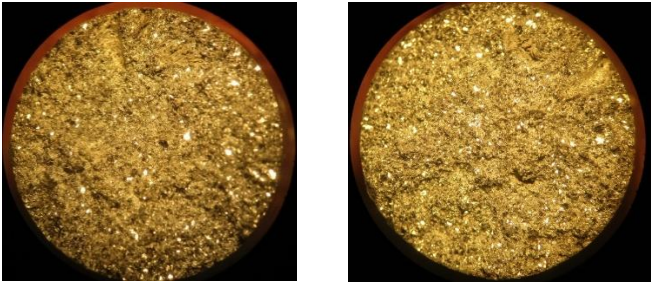
Spesimen tarik yang telah diuji tarik lalu dilakukan pengamatan struktur makro dan mikro. Pengamatan makro setelah pengujian tarik dilakukan adalah pengamatan foto makro pola patahan. Berikut adalah foto pola patahan spesimen dengan fraksi volume alumina 0%, 20% dan 25%.



Gambar 4.2 Pola patahan spesimen uji tarik dengan fraksi volume alumina 0%



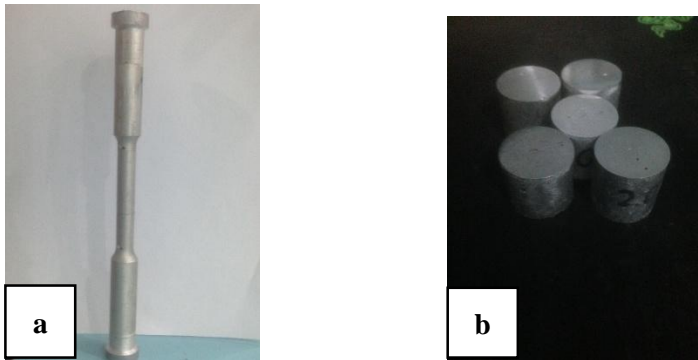
Gambar 4.3 Pola patahan spesimen uji tarik dengan fraksi volume alumina 20%



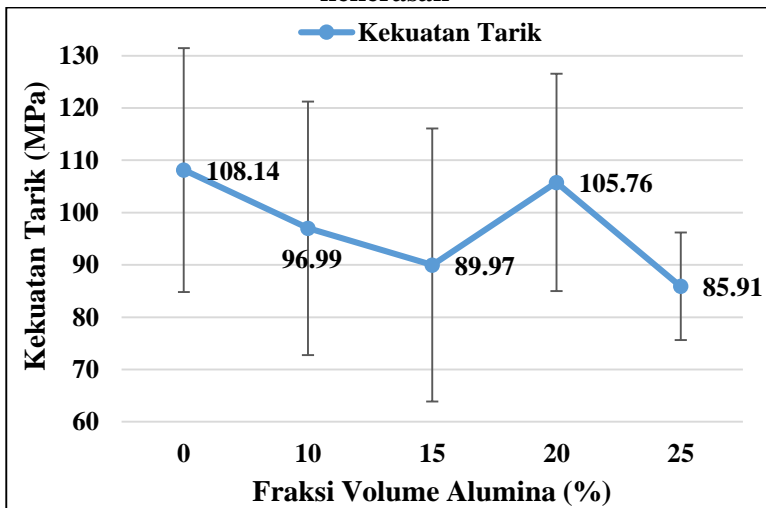
Gambar 4.4 Pola patahan spesimen uji tarik dengan fraksi volume alumina 25%

Tabel 4.3 Data Pengujian Kekerasan

No	Fraksi Volume Alumina (%)	Titik	Nilai kekerasan	BHN (avg)
1	0	1	84.87	84.87
		2	84.87	
		3	84.87	
2	10	1	76.25	72.5
		2	72.41	
		3	68.84	
3	15	1	65.51	65.58667
		2	62.41	
		3	68.84	
4	20	1	84.87	81.99667
		2	76.25	
		3	84.87	
5	25	1	76.25	73.69
		2	72.41	
		3	72.41	



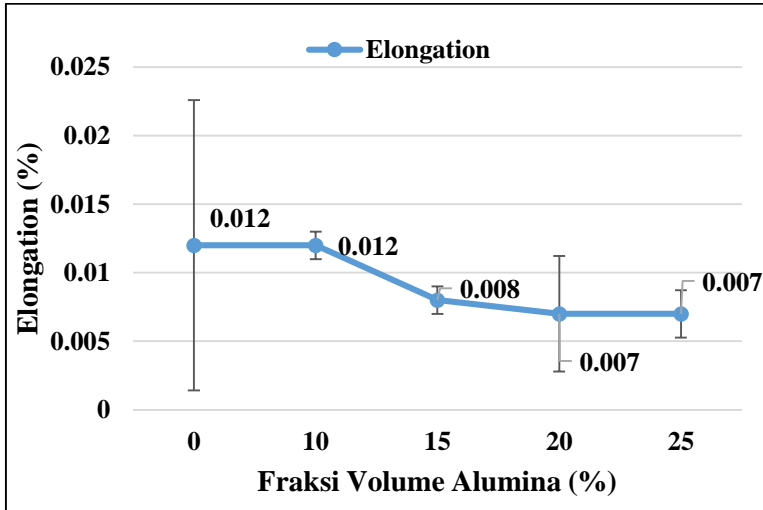
Gambar 4.5 (a) Spesimen uji tarik (b) Spesimen uji kekerasan



Gambar 4.6 Grafik rata-rata nilai kekuatan tarik

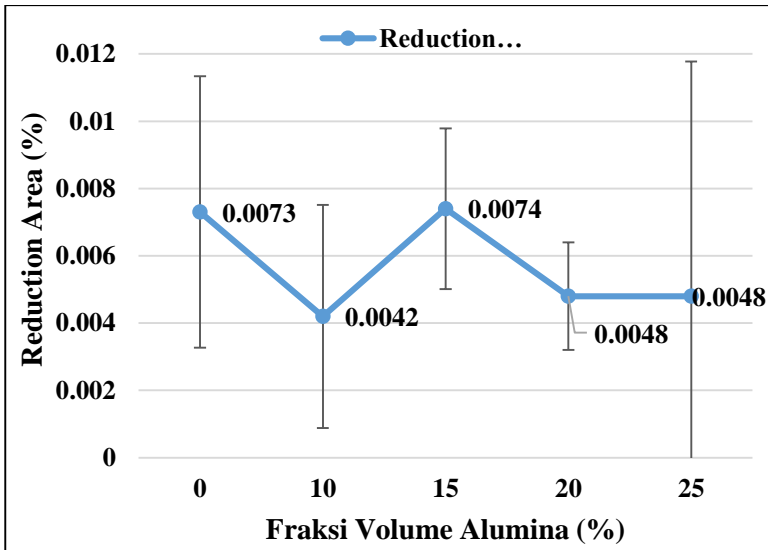
Pada gambar 4.6 menjelaskan grafik hasil uji tarik rata-rata pada *aluminium matrix composite* berdasarkan kadar alumina per persentase volume fraksi masing-masing. Terlihat kecenderungan nilai kekerasan menurun pada spesimen 1 hingga spesimen 3 yaitu kadar 0 sampai dengan kadar 15 persen fraksi

volume alumina. Kemudian nilai kekuatan tarik naik pada spesimen 4 yaitu kadar 20 persen fraksi volume alumina. Lalu menurun kembali pada spesimen 5 yaitu kadar 25 persen fraksi volume alumina.



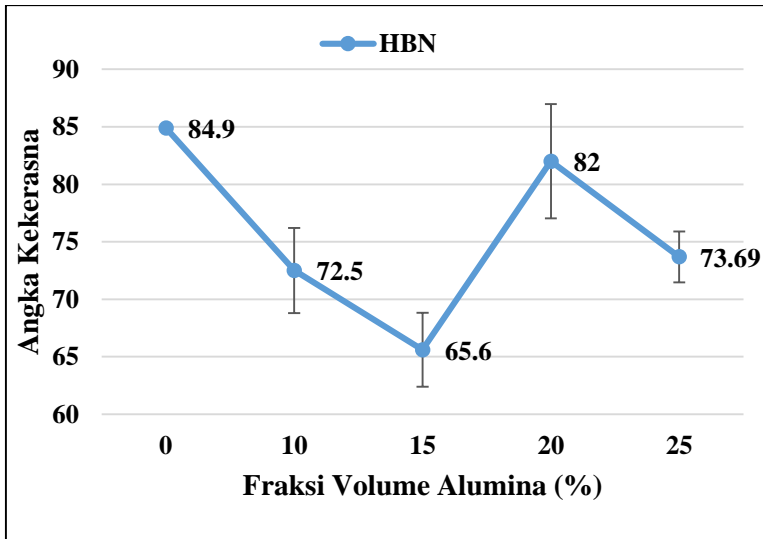
Gambar 4.7 Grafik rata-rata persen elongation

Pada gambar 4.7 menjelaskan grafik hasil pertambahan panjang rata-rata pada *aluminium matrix composite* berdasarkan kadar alumina per persentase volume fraksi masing-masing. Terlihat kecenderungan persen elongation menurun pada spesimen 1 hingga spesimen 5 yaitu kadar 0 sampai dengan kadar 25 persen fraksi volume alumina.



Gambar 4.8 Grafik rata-rata persen reduction area

Pada gambar 4.8 menjelaskan grafik hasil uji tarik rata-rata pada *aluminium matrix composite* berdasarkan kadar alumina per persentase volume fraksi masing-masing. Terlihat kecenderungan persen reduction area menurun pada spesimen 1 hingga spesimen 2 yaitu kadar 0 sampai dengan kadar 10 persen fraksi volume alumina. Kemudian persen reduction area naik pada spesimen 3 yaitu kadar 15 persen fraksi volume alumina. Lalu menurun kembali pada spesimen 4 yaitu kadar 20 persen fraksi volume alumina. Naik kembali pada spesimen 5 yaitu kadar 25 persen fraksi.

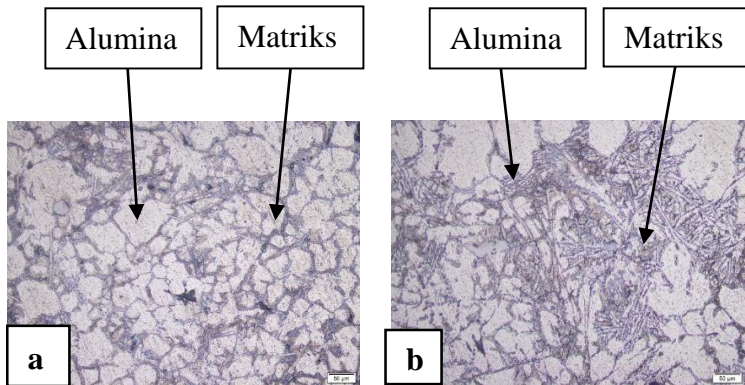


Gambar 4.9 Grafik rata-rata kekerasan

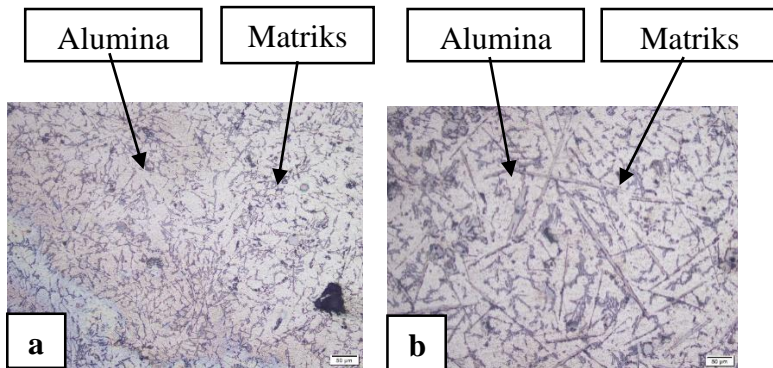
Pada gambar 4.9 menjelaskan grafik hasil uji kekerasan rata-rata pada *aluminium matrix composite* berdasarkan kadar alumina per persentase volume fraksi masing-masing. Terlihat kecenderungan nilai kekerasan menurun pada spesimen 1 hingga spesimen 3 yaitu kadar 0 sampai dengan kadar 15 persen fraksi volume alumina. Kemudian nilai kekerasan naik pada spesimen 4 yaitu kadar 20 persen fraksi volume alumina. Lalu menurun kembali pada spesimen 5 yaitu kadar 25 persen fraksi volume alumina.

4.3 Pengujian Struktur Mikro

4.3.1 Persebaran Alumina Pada *Aluminium Matrix Composite*



Gambar 4.10 Struktur mikro *Aluminium Matrix Composite* dengan perbesaran 200x (a) 10 % fraksi volume alumina dan (b) 15% fraksi volume alumina

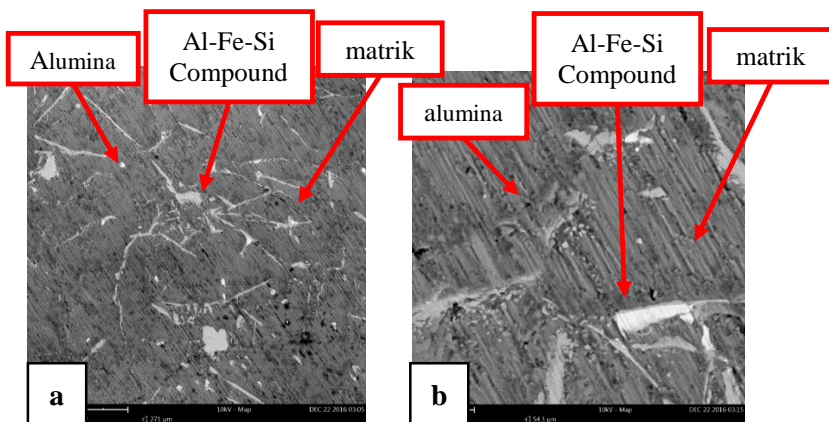


Gambar 4.11 Struktur mikro *Aluminium Matrix Composite* dengan perbesaran 200x (a) 20 % fraksi volume alumina dan (b) 25% fraksi volume alumina

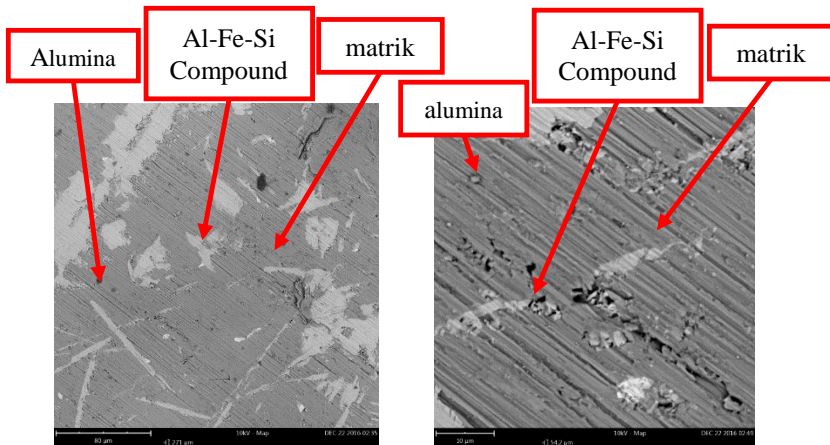
Gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan hasil pengujian *metallography* pada spesimen *aluminium matrix composite* dengan presentase fraksi volume alumina sebesar 10 persen hingga 25 persen. Larutan etsa yang digunakan Keller Reagent dengan komposisi 2,5 mL HNO_3 , 1,5 mL HCl , 1 mL HF dan 95 mL aquades. Hasil pengujian menunjukkan bahwa partikel alumina berbentuk oval tak beraturan dan tersebar pada matriks aluminium.

4.3.2. Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive Xray (EDX)

Untuk *verifikasi* butiran alumina dan memperkuat data dilakukan uji SEM dan EDX. Pengujian SEM dilakukan pada dua spesimen, yaitu spesimen paling lunak dan paling keras karena dianggap merepresentasikan produk spesimen yang lainnya. Produk yang paling keras adalah dengan kadar 20% volume fraksi alumina sedangkan yang paling lunak adalah kadar 25% volume fraksi alumina.

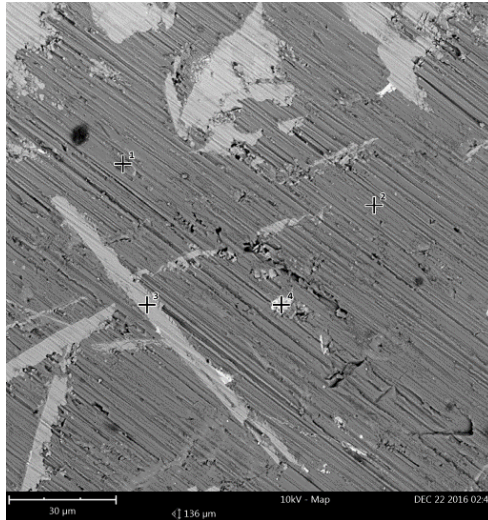


Gambar 4.12 Hasil uji SEM dengan perbesaran aluminium matrix composite kadar 20 % volume fraksi (a) 1000x dan (b) 5000x

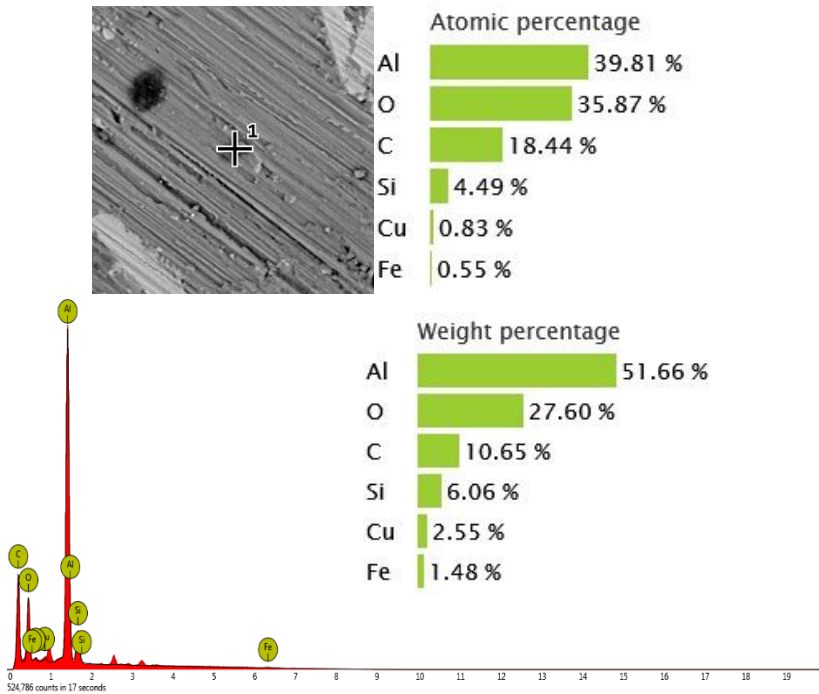


Gambar 4.13 Hasil uji SEM dengan perbesaran aluminium matrix composite kadar 25 % volume fraksi (a) 1000x dan (b) 5000x

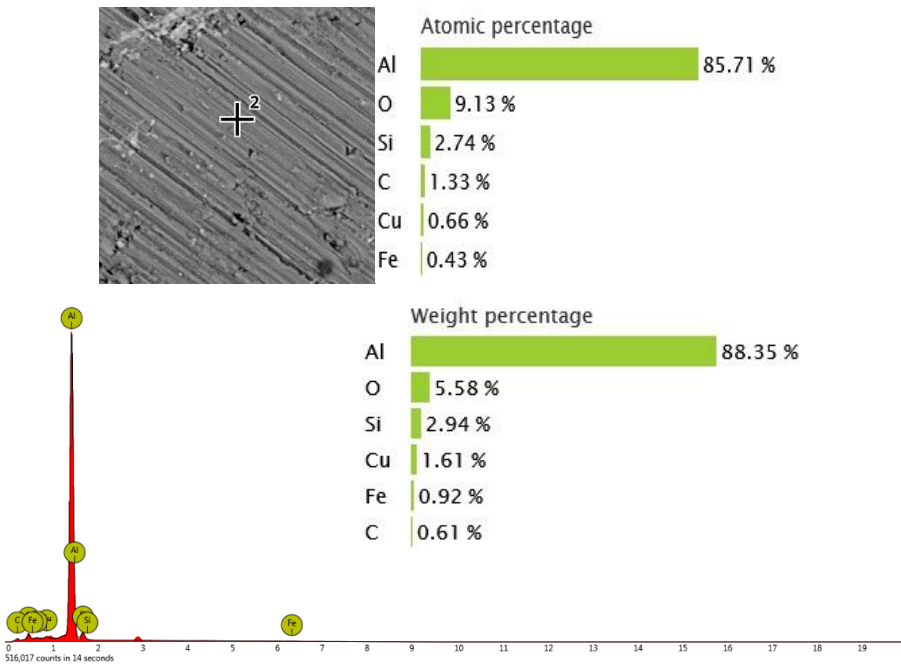
Gambar 4.12 dan gambar 4.13 menunjukkan hasil pengujian SEM produk Aluminium Matriks Composite. Partikel alumina ditunjukkan berwarna abu abu lebih terang daripada matriks. sedangkan Al-Fe-Si compound berbentuk dendritik memanjang berwarna putih. Matriks aluminium ditunjukkan dengan area berwarna abu abu lebih gelap. Gambar 4.14 adalah hasil uji EDX yang menjelaskan verifikasi fase dalam produk.



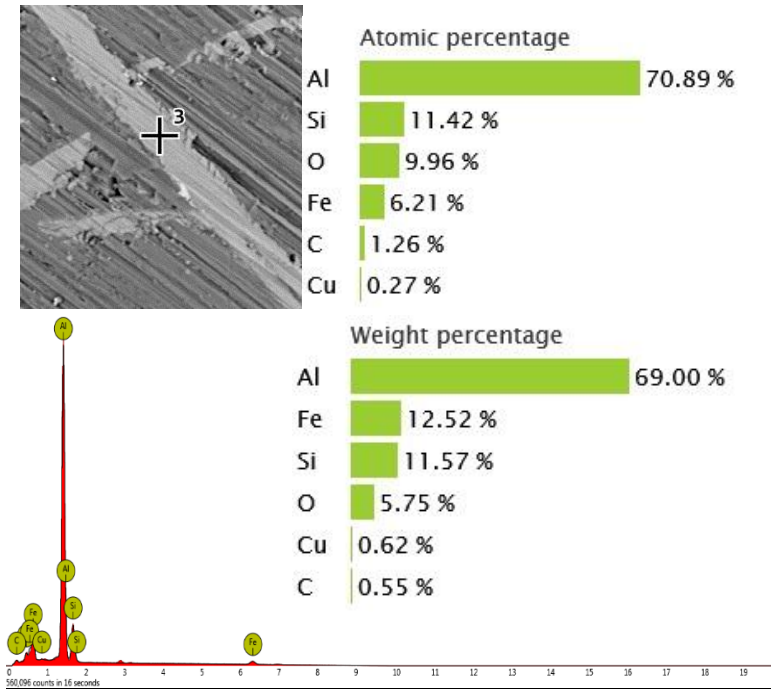
Gambar 4.14 Hasil uji EDX aluminium matrix composite kadar 25 % volume fraksi dengan perbesaran 2000x



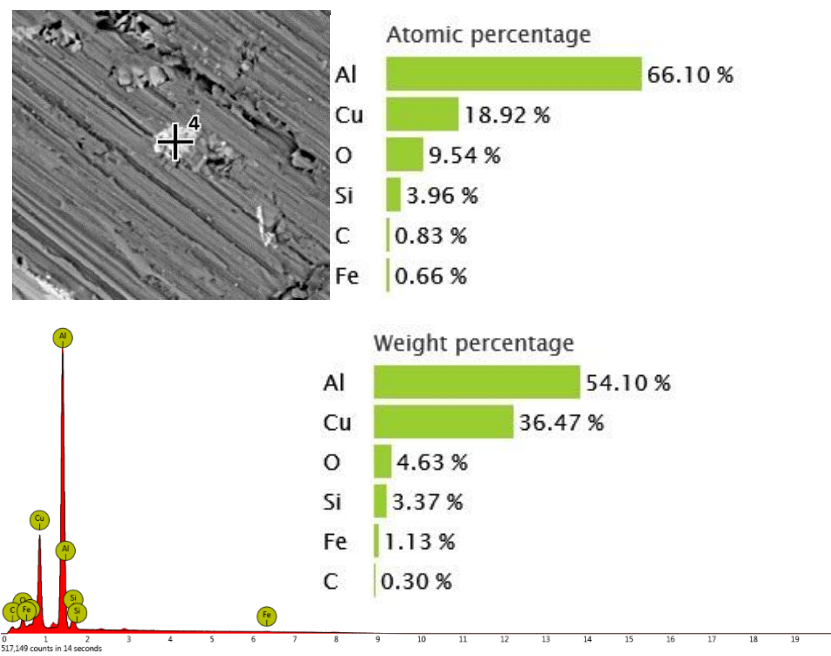
Gambar 4.15 Hasil uji EDX titik nomer 1



Gambar 4.16 Hasil uji EDX titik nomer 2



Gambar 4.17 Hasil uji EDX titik nomer 3



Gambar 4.18 Hasil uji EDX titik nomor 4

BAB 5

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian yang telah didapatkan selanjutnya akan dijadikan sebagai pedoman untuk proses analisa selanjutnya. Analisa dimulai dari komposisi kimia matriks, kemudian dilanjutkan secara mikroskopik kemudian dihubungkan dengan sifat mekanik produk berupa kekuatan tarik dan kekerasan.

5.1 Pembahasan Komposisi Kimia Matriks

Hasil pengujian *spectrometry* pada tabel 4.1 menunjukkan kandungan unsur kimia yang terdapat pada matriks aluminium. Unsur yang terdapat pada matriks aluminium memiliki kadar 86,3 % Al, 8,46 % Si, 0,100 % Mg, 1,46% Fe dan unsur lainnya seperti Ti, Cu, Mn, Ni, Pb yang berpresentase kecil. Komposisi kimia matriks yang didapatkan merujuk bahwa matriks yang digunakan merupakan aluminium seri 4xxx dengan kadar aluminium yang cukup tinggi. Dengan mengetahui unsur yang terkandung didalam matriks dapat memudahkan dalam menganalisa sifat-sifat aluminium karena perbedaan kandungan unsur pada matriks akan sangat mempengaruhi sifat mekanik produk *aluminium matrix composite*. Kandungan unsur selain Al-Si yang terdapat pada matriks merupakan *impurities* dari hasil proses pembuatan aluminium itu sendiri. Setelah diperoleh bahwa aluminium yang digunakan sebagai matriks mempunyai kadar aluminium yang cukup tinggi, maka analisa berikutnya dapat menjadi lebih fokus pada pengaruh alumina dalam matriks aluminium. Sedangkan pengaruh alumina pada unsur lain yang terkandung dalam matriks dapat diabaikan karena presentase unsur sangat kecil.

5.2 Pengaruh Penambahan Alumina Terhadap Sifat Mekanik

5.2.1 Kekerasan

Pada Tabel 4.3 dan gambar 4.9 menunjukkan nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan Brinell. Pengujian kekerasan menggunakan metode brinell dengan indenter 2,5 mm. Metode brinell dipilih agar kekerasan yang didapatkan berasal dari area yang heterogen. Sehingga ketika diuji tekan, partikel alumina juga terkena beban indentasi. Pada gambar 4.9 diperoleh nilai kekerasan yang menurun dari aluminium murni dengan kadar 0 persen hingga 15 persen fraksi volume alumina kemudian naik pada kadar 20 persen fraksi volume alumina lalu meningkat kembali pada kadar 25 persen fraksi volume alumina. Nilai kekerasan pada produk meningkat disebabkan karena partikel alumina mengisi matriks aluminium. Partikel alumina akan mencegah terjadinya dislokasi pada matriks aluminium. Akan tetapi pada hasil pengujian nilai kekerasan pada persentase 25 fraksi volume alumina mengalami penurunan. Terjadinya penurunan nilai kekerasan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor. Porositas merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan nilai kekerasan menurun.

Faktor pertama adalah porositas. Menurunnya angka kekerasan pada derajat fraksi 10 % dan 15 % volume mungkin dikarenakan bertambahnya jumlah porositas dalam produk. Banyaknya porositas dapat dilihat secara makro pada gambar 5.3 dan 5.4. Semakin banyak porositas akan menyebabkan pergerakan dislokasi matriks menjadi lebih mudah. Dislokasi yang mudah terjadi menyebabkan diameter hasil indentasi semakin besar, sehingga nilai kekerasan menurun. Secara makro pada gambar 5.5 dan 5.6 produk dengan kadar 10 % dan 15 % mempunyai tingkat porositas yang lebih banyak daripada 20 % dan 25 % fraksi volume alumina.

Selain faktor porositas terdapat faktor lain berupa lepasnya partikel alumina di permukaan produk. Lepasnya

alumina berkaitan dengan ikatan *interfacial zone* yang biasa disebut bonding. Partikel alumina yang lepas menyebabkan timbulnya lubang di permukaan produk. Lubang lubang tersebut mempengaruhi permukaan indentasi. Sehingga lubang karena lepasnya alumina menjadikan dislokasi matriks juga semakin mudah. Pada dasarnya terdapat dua macam ikatan pada *interface* sebuah *metal matrix composite*. Yaitu *mechanical bonding* dan *chemical bonding*. Jenis ikatan yang terjadi juga jelas mempengaruhi bagaimana karakteristik *interface* nantinya. Pada *mechanical bonding*, kekasaran permukaan menjadi faktor penting dalam pembentukannya. Kekasaran permukaan ini menimbulkan penguncian di permukaan yang selanjutnya berikatan secara mekanik. *Interface* pada komposit yang bersifat halus hanya ada pada kondisi ideal, pada kenyataannya kekasaran *interface* sangat variatif yang selanjutnya menimbulkan *interlocking*. Dalam studi ini penguat alumina merupakan jenis keramik, sedangkan aluminium adalah matriks metal. Pada situasi ini, matriks metal mempunyai *coefficient of thermal* yang lebih tinggi daripada penguat keramik. Sehingga matriks metal pada komposit akan mengalami penyusutan secara radial lebih tinggi dibandingkan dengan keramik penguat saat didinginkan dari suhu tinggi. Ini akan menyebabkan pencengkaman secara mekanik oleh aluminium kepada alumina. Jadi *mechanical bonding* antara matriks metal aluminium dan penguat keramik alumina bisa terbentuk dengan baik. Tetapi pada umumnya *chemical bonding* memiliki energi lebih tinggi daripada *mechanical bonding*. Pada studi kali ini tidak terjadi ikatan kimia, sehingga partikel alumina akan lepas saat kekasaran permukaan semakin menurun. Ikatan kimia akan menimbulkan *interface* mempunyai senyawa baru seperti dalam daftar Tabel 5.1. Minimnya ikatan kimia menyebabkan partikel alumina mudah lepas pada permukaan matriks ketika proses grinding – polishing.

5.2.2 Kekuatan Tarik

Menjelaskan grafik hasil uji tarik rata-rata pada *aluminium matrix composite* berdasarkan kadar alumina per persentase volume fraksi masing-masing. Terlihat kecenderungan nilai kekuatan tarik turun pada spesimen 1 sebesar 108,95 N/mm² dengan kadar fraksi volume alumina 0%, lalu mengalami penurunan pada spesimen 2 sebesar 96,99 N/mm² dengan kadar fraksi volume alumina 10%. Kemudian pada spesimen 3 mengalami penurunan sebesar 89,97 N/mm² dengan kadar fraksi volume alumina 15%. Kemudian nilai kekuatan tarik naik pada spesimen 4 sebesar 105,76 N/mm² dengan kadar fraksi volume alumina 20% dan mengalami penurunan kembali pada spesimen 5 sebesar 85,91 N/mm² dengan kadar fraksi volume alumina 25%.

Berdasarkan teori yang ada, penambah kadar fraksi volume alumina kekuatan tarik seharusnya mengalami kenaikan. Namun yang terjadi pada pengujian ini diperoleh grafik yang fluktuatif. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kekuatan tarik terus menurun seiring dengan bertambahnya presentase penguat. Hasil studi ini, berbeda dengan literatur yang menyatakan kekuatan terhadap tarik naik perlahan seiring dengan pertambahan fraksi volume penguat. Namun studi ini serupa dengan literatur yang merepresentasikan hasil aluminium matriks komposit mempunyai nilai kekuatan tarik yang cenderung menurun seiring dengan pertambahan alumina. Hipotesa awal mengacu pada grafik kekuatan tarik seharusnya berbanding terbalik dengan nilai kekerasan. Karena nilai kekerasan berbanding terbalik dengan kekuatan yang menyatakan kekuatan tarik suatu material. Dengan meningkatnya kegetasan tersebut maka kemampuan material untuk menahan tegangan maksimum oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah semakin kecil.

Faktor mendasar menurunnya angka kekuatan tarik adalah terbentuknya interface pada material. *Interface* sangat

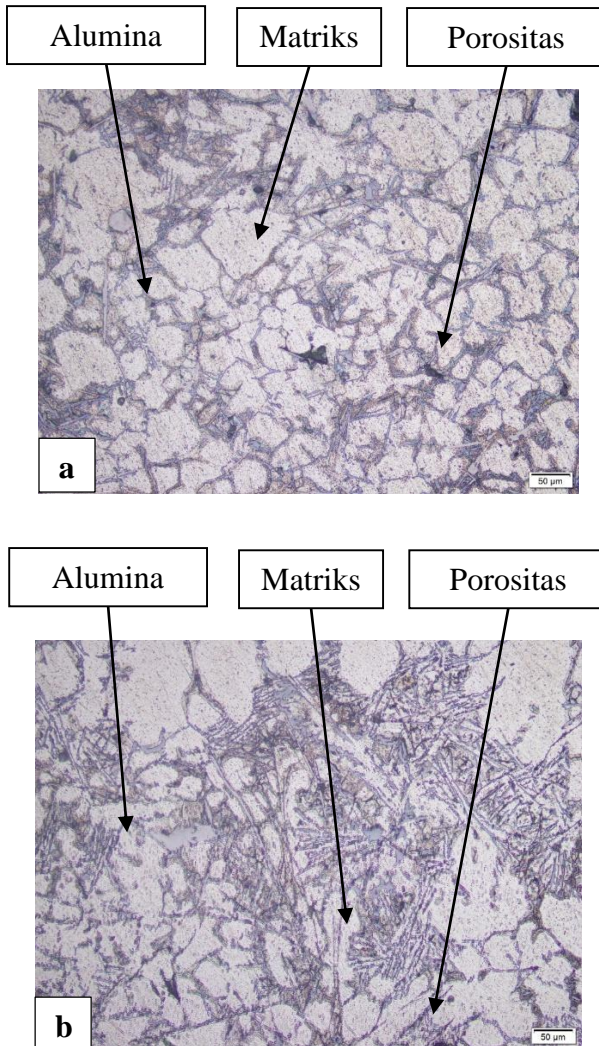
penting bagi berbagai macam komposit. Ini dikarenakan dalam semua komposit, area *interfacial* per unit volume akan sangat besar seiring dengan penambahan presentase penguat, khususnya pada *metal matrix composite*. Dalam literatur, gaya pada *interface* akan menimbulkan *interfacial reaction* yang berakibat turunnya energi dalam sistem. Hal ini berkaitan dengan banyaknya presentase penguat dalam matriks, semakin banyak presentase penguat maka menyebabkan turunnya energi dalam sistem juga akan semakin besar. Pada umumnya *interfacial zone* dengan ketebalan tertentu terdiri dari lapisan yang berlipat. Lapisan menimbulkan tegangan pada sisi partikel dan matriks, yang tergantung pada nilai modulus elastisitas keduanya. Tegangan yang timbul menyebabkan dislokasi, pergeseran grain boundary, serta pengintian retak. Oleh sebab itu diperlukan *interface* yang mendekati ideal dalam pembentukan *metal matrix composite*. Ideal *interface* dalam *metal matrix composite* seharusnya memiliki sifat *wetting ability* (kemampubasahan) dan *bond* (ikatan) pada derajat yang bagus. *Interface* dengan derajat yang bagus dapat menjaga partikel penguat dan tetap meneruskan *transfer* gaya dari matriks metal lunak ke penguat yang bersifat keras. Kemampubasahan matriks pada penguat akan sangat mempengaruhi pembentukan *interface* nantinya. *Wettability* dinyatakan dengan *contact angle* (sudut kontak) yang terbentuk antara permukaan penguat dengan permukaan matriks. Literatur menyebutkan bahwa kemampubasahan matriks aluminium pada partikel alumina berada pada derajat yang baik. Untuk meningkatkan *wettability* matriks, saat pengecoran alumina dibungkus dengan aluminium foil kemudian baru dimasukkan kedalam aluminium cair. *Wettability* yang kurang baik akan menimbulkan porositas yang semakin banyak. Penurunan *wettability* dilambangkan dengan membesarnya *contact angle* antara matriks dan alumina. Penambahan alumina akan berakibat membesarnya sudut kontak daripada sebelumnya. Awalnya matriks aluminium *pure* tidak memiliki

sudut kontak dengan penguat. Ketika ditambahkan penguat akan timbul sudut kontak antara aluminium dengan penguat tersebut, semakin besar penambahan penguat, alumina yang terkumpul semakin banyak dan sudut kontak membesar. Sudut kontak yang membesar menimbulkan *porosity nucleation*. Porositas yang semakin banyak menjadi alasan kuat menurunnya kekuatan tarik produk material. Porositas menyebabkan timbulnya *initiation crack*, semakin banyak porositas akan menyebabkan awal mula retakan terjadi sehingga *tensile strength* menurun drastis. Selain itu *interface* menyebabkan terjadinya *crack nucleation*. *Interface* dalam jumlah yang semakin besar dalam satuan per unit volume menyebabkan *crack nucleation* semakin besar jumlahnya.

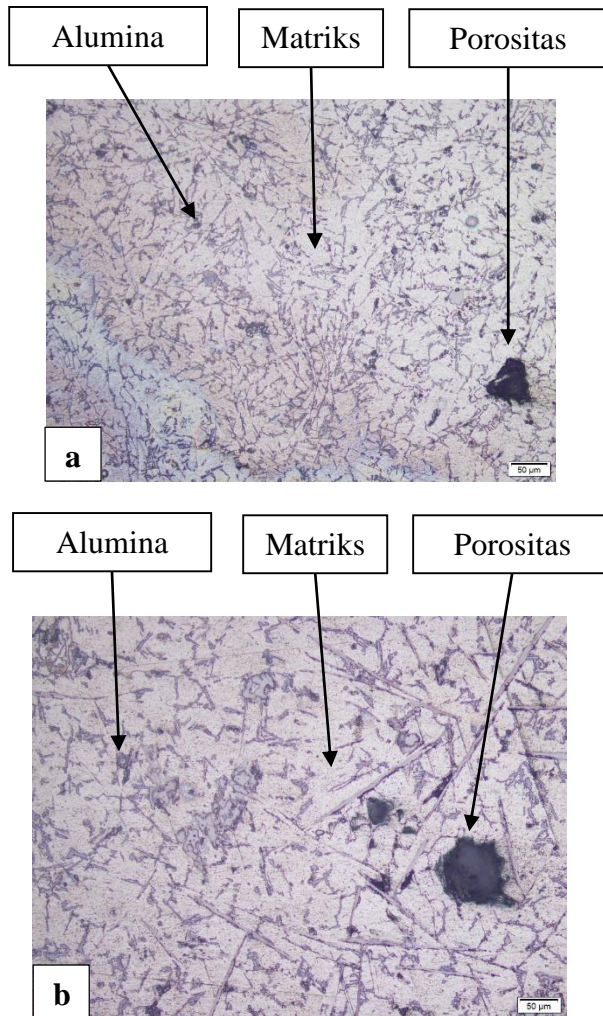
5.3 Pembahasan Struktur Mikro dan Makro

5.3.1 Pengamatan Mikro

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro dengan *metallography* pada gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan partikel alumina yang tersebar serta menunjukkan porositas yang terdapat pada produk *aluminium matrix composite*. Jumlah porositas yang paling banyak terdapat pada spesimen dengan kadar presentase fraksi volume alumina sebesar 15 persen.



Gambar 5.1 Struktur mikro *Aluminium Matrix Composite* dengan perbesaran 200x (a) 10% fraksi volume alumina, (b) 15% fraksi volume alumina



Gambar 5.2 Struktur mikro *Aluminium Matrix Composite* dengan perbesaran 200x (a) 20% fraksi volume alumina dan (b) 25% fraksi volume alumina

Kemungkinan terdapat lubang yang ada pada produk *aluminium matrix composite* disebabkan proses *machining* dan proses *grinding-polishing* sehingga partikel alumina terlepas dan menyebabkan lubang. Lepasnya alumina dari permukaan produk terjadi karena lemahnya ikatan *interface* antara alumina yang berfungsi sebagai *reinforcement* dengan aluminium yang berperan sebagai matriks. Ikatan *interface* pada *metal matrix composite* terdapat 2 macam pada dasarnya, yakni *mechanical bonding* dengan *chemical bonding*. Masing-masing memiliki pengaruh yang berbeda terhadap ikatan yang terjadi pada *interface*. Aluminium yang berfungsi sebagai matriks memiliki termal koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan alumina. Sehingga aluminium mengalami penyusutan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan alumina bila didinginkan dari suhu tinggi. Hal ini menyebabkan terjadinya pencengkeraman secara mekanik oleh aluminium pada alumina. Bila dibandingkan dengan *chemical bonding*, *mechanical bonding* memiliki energi yang lebih rendah. Pada penelitian ini tidak terjadi ikatan kimia, seperti pada tabel 5.1 tidak terdapat hasil reaksi *interface* pada matriks aluminium dengan penguat alumina. Minimnya ikatan kimia ini yang menyebabkan partikel alumina mudah terlepas dari permukaan matriks aluminium. Selain itu terdapat pula porositas yang terjadi karena beberapa faktor hingga menyebabkan udara terperangkap pada spesimen ketika dalam keadaan cair berubah ke keadaan padat.

Uji *spectrometry* menyatakan bahwa terdapat *impurities* pada matriks berupa unsur Fe, Cu, Mn, Si, dan lain lain. Jumlah presentase pengotor yg paling besar adalah Si sebanyak 8,46 % dan Fe 1,46 %. Pada gambar 4.12 dan 4.13 terlihat Al-Fe-Si intermetalik, yaitu *impurities* yang paling besar persentasenya. Untuk menjustifikasi partikel alumina dan *impurities* lainnya dapat dilakukan menggunakan SEM-EDX. Dari hasil uji EDX dengan menembak pada satu titik (*spot*) dapat mengidentifikasi unsur dalam produk spesimen. Terlihat

bahwa alumina berbentuk oval tak beraturan berwarna abu abu terang. Sedangkan sebagian besar area pada produk, yaitu yang berwarna abu abu gelap adalah matriks aluminium. Dalam produk juga terdapat Al-Fe-Si intermetalik yang membentuk dendritik berwarna putih. Terlihat unsur Al-Fe-Si intermetalik menyebar pada produk *aluminium matrix composite*. Pengambilan foto SEM dilanjutkan analisa EDX pada Gambar 4.15 menggunakan perbesaran 2000x. *Spot Object* menjelaskan bahwa presentase massa oksigen adalah 35.87 % dan presentase massa aluminium adalah 39.81 %. Selain itu terdapat unsur lainnya seperti Si dan Fe yang jumlahnya tidak besar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa spot yang ditunjuk adalah alumina. Dari gambar 4.15 juga mengindikasikan bahwa ukuran alumina kurang lebih satu mikron, hal ini sesuai dengan spesifikasi alumina dari distributor. Sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa *spot object* adalah benar partikel alumina. Dengan analisa yang sama, juga bisa ditarik kesimpulan bahwa spot 2 menunjukkan matriks aluminium dan spot 3 terdapat tambahan Al-Fe-Si Compound. Untuk *impurities* lainnya juga dapat diverifikasi melalui mode *mapping* pada mesin uji SEM-EDX.

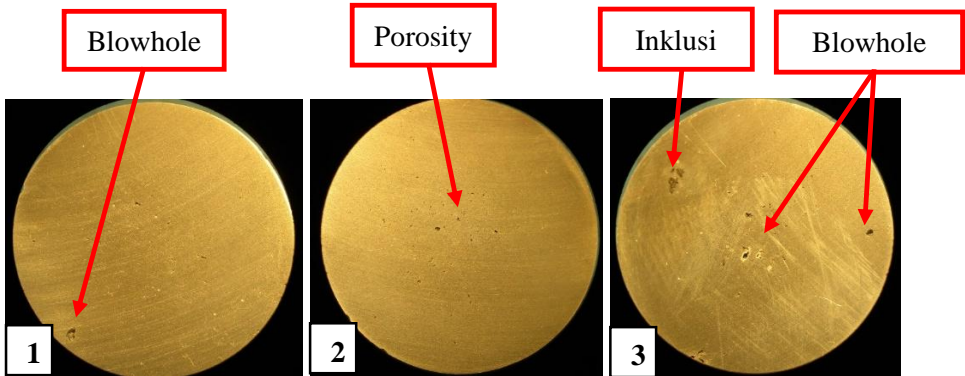
Tabel 5.1 Hasil reaksi interface pada chemical bonding

Reinforcement	Matrix	Reaction product(s)
SiC	Ti alloy Al alloy	TiC, Ti ₅ Si ₃ Al ₄ C ₃
Al ₂ O ₃	Mg alloy	MgO, MgAl ₂ O ₄ (spinel)
Al ₂ O ₃	Al alloy	None
B	Al alloy	AlB ₂
ZrO ₂	Al alloy	ZrAl ₃
C	Al alloy	Al ₄ C ₃
C	Cu	None
W	Cu	None
NbTi Nb ₃ Sn	Cu	None
Various Oxides	Ag	None

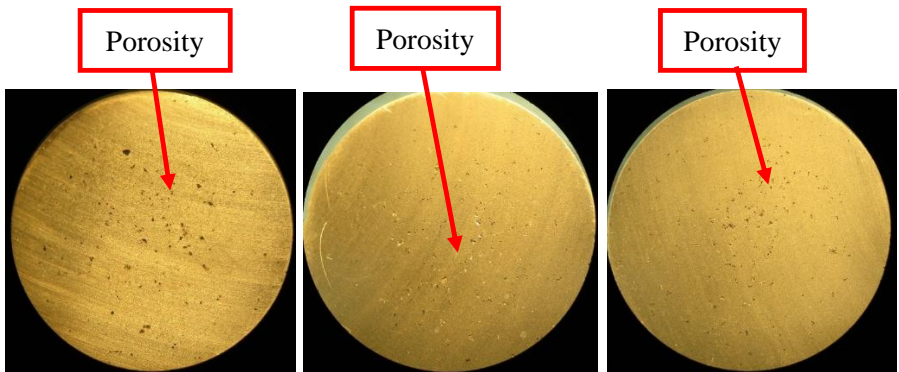
5.3.2 Pengamatan Makro

Pada gambar 5.2 sampai 5.6 menunjukkan terdapat porositas dan lubang bekas melekatnya pada permukaan spesimen. Porositas dan lubang bekas melekatnya alumina paling banyak terdapat pada spesimen dengan presentase alumina sebesar 15 persen fraksi volume alumina. Peningkatan persentase penguat menyebabkan alumina yang terkumpul menjadi banyak. Dengan bertambahnya alumina yang terkumpul mengakibatkan sudut kontak matriks dengan penguat semakin besar. Sudut kontak yang semakin besar mengakibatkan penurunan pada *wettability* antara aluminium dengan alumina. *Wettability* sendiri berpengaruh pada pembentukan ikatan *interface* pada *metal matrix composite*. Ikatan *interface* berfungsi untuk menyalurkan tegangan yang diterima aluminium sebagai matriks ke alumina sebagai

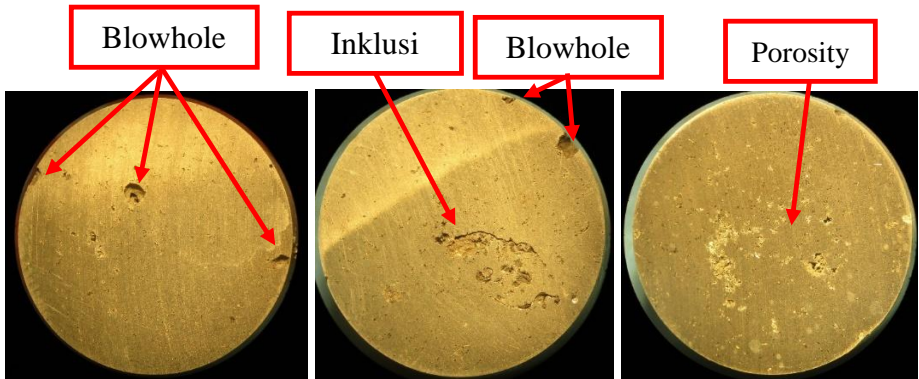
penguat. Oleh karena itu, dengan buruknya *wettability* akan menghasilkan ikatan *interface* yang buruk sehingga menyebabkan partikel alumina terlepas dari matriksnya ketika dikenai pengujian tarik.



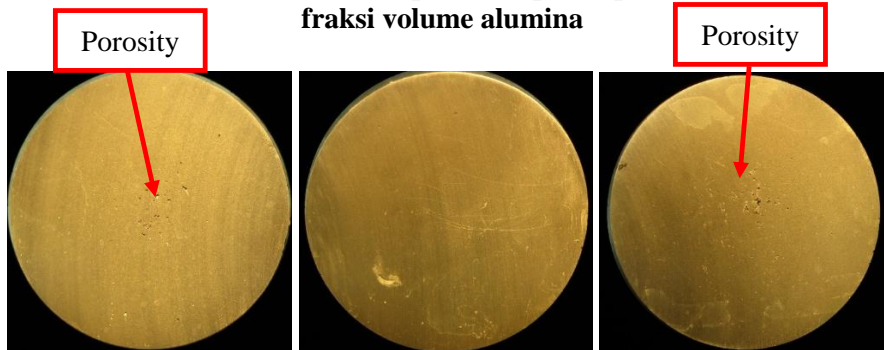
Gambar 5.3 Persebaran porositas pada spesimen 0% fraksi volume alumina



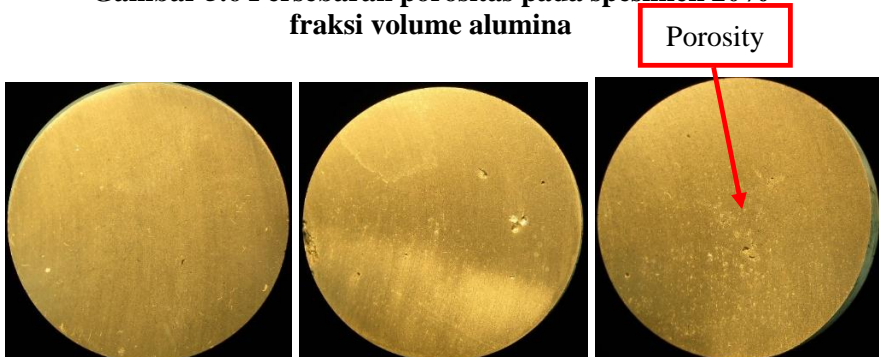
Gambar 5.4 Persebaran porositas pada spesimen 10% fraksi volume alumina



Gambar 5.5 Persebaran porositas pada spesimen 15% fraksi volume alumina



Gambar 5.6 Persebaran porositas pada spesimen 20% fraksi volume alumina



Gambar 5.7 Persebaran porositas pada spesimen 25% fraksi volume alumina

5.3.3 Penggetasan hydrogen (*Hydrogen Embrittlement*)

Dalam pengecoran logam diusahakan untuk mendapatkan ukuran butiran yang kecil karena akan memperbaiki sifat mekanik. Ukuran butir kecil, distribusi homogen dan mempercepat laju nukleasi dapat diperoleh dengan menambahkan inoculen kedalam logam cair. Bentuk inti padat dalam transformasi pendinginan logam merupakan pertumbuhan inti yang utuh dari pada pengintiannya itu sendiri. Kualitas sifat mekanik pengecoran dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu; sistem komposisi (paduan) dan kecepatan pendinginan. Artinya dengan adanya penambahan unsur paduan dan kecepatan pendinginan tertentu sifat mekanik coran tersebut akan meningkat. Gas-gas yang terbentuk tersebut akan bergerak kepermukaan dan ini menyebabkan porositas sehingga kekuatan permukaan menjadi berkurang. Dengan semakin lamanya waktu solidifikasi akan meningkatkan pembentukan gas-gas dalam logam cair. Pada akhirnya gas-gas yang terbentuk dan atau berada dalam logam cair akan membentuk porositas logam cor. Adanya porositas dalam aluminium cor yang dipakai dalam sistem struktur akan menimbulkan berbagai permasalahan baru, seperti; *stress corrosion cracking* meningkat, *segregation* bertambah, *micro crack* pada permukaan meningkat, *fatigue resistance* menurun, *density* menurun dan lain sebagainya.

Temperatur dan tekanan solidifikasi merupakan dua parameter termodinamika yang sangat penting untuk mengontrol porositas dan sifat mekanik produk coran aluminium paduan. Dengan dua parameter termodinamika tersebut struktur butir logam akan menempati kedudukan dan jarak yang lebih pendek sehingga gas-gas yang terdapat dalam logam panas akan dipaksa keluar. Disamping itu adanya kontrol temperatur solidifikasi akan membantu pembentukan tekstur aluminium paduan tersebut. Karena dalam proses solidifikasi logam; pembentukan gas, *boilling* dan pembekuan

terjadi secara simultan yang kesemuanya berpacu dengan waktu. Retak-retak kerut karena laju pendinginan yang tidak sama dalam pengecoran sebagai dua penyebab utama terjadinya porositas. Pertama, evolusi gas-gas selama pembekuan, dan kedua, kelarutan volume solidifikasi. Gas-gas yang terlarut dalam logam tergantung pada tekanan. Beberapa logam kontak dengan unsur diatomic O_2 , N_2 , dan H_2 yang kelarutannya rendah dapat menyebabkan porositas. Jika kelarutan maksimumnya rendah, biasanya dinyatakan dengan konsentrasi keseimbangan gas dalam logam pada tekanan gas yang konstan. Kelarutan *hydrogen* dalam aluminium padat dan cair cukup besar, kasus kelarutan hydrogen dalam aluminium dapat menyebabkan terjadinya kerapuhan dan kejadian ini sangat membahayakan. Dalam proses pengecoran logam kelarutan tersebut dikenal dengan *hydrogen embrittlement*. Gas-gas lain akan terlarut apabila nonmetalik dalam reaksi peleburan dengan lingkungan tercampur. Aluminium cair bereaksi secara cepat dengan *carbon monoxide* dan *carbon dioxide* dan juga bereaksi dengan uap air dalam lingkungan atmosfer, menyerap air, adanya air seperti lapisan hidrasi oksida pada *scrap* dan air yang terserap atau kombinasi dalam refraktori. Aluminium padat juga bereaksi dengan moisture dalam lingkungan *furnace* sehingga terbentuk *oxide* dan *hydrogen*. Seperti reaksi sumber *hydrogen* dalam material padat disebabkan oleh difusi dari permukaan. Jumlah *hydrogen* dalam aluminium cair lebih besar dari pada kesetimbangan jumlah kelarutan, karena dipicu reaksi *metal-moisture*. Jumlah yang terdapat dalam aluminium padat dapat lebih besar dari jumlah kelarutan padat karena selama pembekuan ada jumlah kelebihan atau karena reaksi pada kandungan air *furnace* pada permukaan logam dan dilanjutkan difusi *hydrogen* masuk masuk pada padatan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Struktur mikro produk menunjukkan pesebaran alumina pada matriks. Semakin banyak presentase alumina, semakin banyak pula alumina yang mengumpul. Unsur Al-Fe-Si Compound terlihat berbentuk dendritik berwarna putih, dan unsur intermetalik lainnya tersebar sesuai gambar pada uji EDX. Porositas bertambah jumlah dan ukurannya seiring dengan pertambahan fraksi volume alumina terlihat pada 15% fraksi volume alumina.
2. Penurunan nilai kekerasan terjadi hingga penambahan kadar 15% fraksi volume alumina, tetapi naik kembali pada presentase 20% dan menurun pada 25% fraksi volume alumina. Peningkatan terjadi karena indentasi melibatkan alumina yang lebih keras daripada matriks. Sedangkan Penurunan terjadi karena faktor alumina yang lepas di permukaan dan porositas yang terbentuk semakin banyak seiring dengan peningkatan presentase alumina.
3. Nilai kekuatan tarik produk metal matrix composite mengalami penurunan seiring dengan pertambahan alumina. Faktor yang menyebabkan penurunan, porositas yang semakin banyak dan partikel diskrit yang menyebabkan pengintian retak semakin bertambah jumlahnya ketika presentase alumina bertambah.
4. Nilai kekerasan paling tinggi berada pada tingkat volume fraksi 20% alumina dengan rata rata 81.99 BHN dan nilai *tensile strength* paling tinggi ada pada aluminium tanpa penambahan alumina dengan rata rata 105.76 MPa.

6.2 Saran

1. Prosedur uji tarik dalam perlakuan spesimen seharusnya sangat tidak dianjurkan untuk memberikan titik dengan cara dipukul. Karena dapat menginisiasi retak dalam, yang

mengakibatkan patah saat uji tarik tidak tepat ditengah-tengah *gage length*.

2. Saat proses pengecoran sebaiknya diperhatikan parameter-parameter seperti temperature tuang dan saat pengadukan, waktu pengadukan dan penuangan, kelembaban material serbuk alumina agar pencampuran aluminium dengan alumina lebih homogen.
3. Pada saat proses pelelehan material aluminium perlunya ditambahkan metode degassing agar udara pengotor tidak membuat kelarutan gas berubah dan terkontaminasi gas hydrogen menghindari *hydrogen embrittlement*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bilal Alief, Krisna., 2015. STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME Al_2O_3 PADA MATRIKS ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN NILAI LAJU KEAUSAN PADA *METAL MATRIX COMPOSITE*. Teknik Mesin Institiut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Kartamana, Maman., 2010. *FABRIKASI KOMPOSIT*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [3] Nayiroh, Nurun., 2013. **Teknologi Material Komposit**. <URL:<http://blog.uin-malang.ac.id/nurun/files/2013/03/Teknologi-Komposit.pdf>. Diakses tanggal 4 Oktober 2015.
- [4] Nashier Effendy, Fuad., 2012. STUDI EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN PENGUAT Al_2O_3 PADA METAL MATRIKS KOMPOSIT. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [5] R. Montanari., 2009. “ *Chapter 1 Metal Matrix Composites*”.
- [6] Chennakesava Reddy. A, Essa Zitoun., 2010. “*Tensile Behavior Of 6063/ Al_2O_3 Particulate Metal Matrix Composites Fabrication By Investment Casting Process*”. **International Journal Of Applied Engineering Research, Dindigul Volume 1, No 3, 2010**. Professor, Departement of Mechanical Engineering, JNTUH College of Engineering, India.
- [7] Karl Ulrich. Kainer., “ *Basic Of Metal Matrix Composite* ”.
- [8] Tot ten. E. George., 2003. **Aluminium Handbook vol 1 Physical Metallurgy And Proceeses**”.
- [9] R. Suresh dan Kumar.Prasanna.M., 2013. “ *Investigation of Tribological Behavior And Its Relation With Processing And Microstructures of Al6061 Metal Matrix Composite*”. Departement of Mechanical Engineering Bapuji

Institute of Engineering and Technology.

Parvin-Rahimian., 2011. "*The Characteristics Of Alumina Particle Reinforced Pure Al Matrix Composite*". **Proceeding of the International Congress on Advance in Applied Physics and Materials Science, Antalaya 2011.** Amirkabir University of Technology.

BIODATA PENULIS



Tito Arifianto Prabowo dilahirkan di Surabaya, 12 Desember 1992. Anak kedua dari Bambang Rachmayanto dan Suprobowati. Penulis menyelesaikan masa studi di SDN Kendangsari I Surabaya pada 2004, dilanjutkan ke SMP Negeri 13 Surabaya pada tahun 2007, dan SMA Negeri 15 Surabaya pada tahun 2010. Selepas SMA penulis melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik

Mesin pada tahun ajaran 2010/2011. Selama menempuh kuliah di kampus perjuangan Teknik Mesin ITS penulis aktif mengikuti organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin. Dalam organisasi penulis memiliki jabatan sebagai Kabiro Administrasi Servis Divisi Kewirausahaan periode 2011-2012. Di LBMM penulis pernah menjadi Koordinator Dana dalam kepanitiaan Mechanics Skill Competition 2012 dan menjadi pemandu Kursus Dasar-Dasar Otomotif 2013. Kepanitiaan selain di LBMM penulis juga menjadi tim *electrical scruttineering* dalam event IEMC 2012. Selain aktif dalam LBMM penulis juga 2 tahun aktif dalam ITS TEAM SAPUANGIN 2013/2014 dan 2014/2015 yang berkompetisi dalam SHELL ECO MARATHON 2014 di Manila, Filipina dan FSAE Japan 2013 juga 2014 di Shisuoka, Jepang. Penulis juga menjadi pimpinan lomba dalam Kontes Mobil Hemat Energi 2014 yang diselenggarakan oleh DIKTI. Di Teknik Mesin ITS penulis memilih untuk masuk Laboratorium Metalurgi dan mengerjakan tugas akhir dibawah bimbingan Indra Sidharta, ST, MSc. Pada tahun 2017 penulis menyelesaikan studi S1-nya.